



中国移动
China Mobile



低空智联网 技术体系白皮书

》》》 2024

中国移动通信集团有限公司

前言

低空经济作为战略新兴产业，将成为新的经济增长引擎，信息服务是推动低空经济快速规模化发展的关键，低空智联网是推动低空信息服务高质量发展的基石。

中国移动全力打造低空经济信息基础设施，已建成全球规模最大的4G/5G网络和星地一体高精度定位网，打造业界领先的实验室测试平台和最大规模的4.9GHz+毫米波通感一体试验网，研发业界领先的无人机智能管控平台“中移凌云”，创新构建“通感一体，智能管导”的低空智联网技术体系，为构筑全域可靠的通信、多维立体的感知、高效可控的管控、智能精准的导航奠定了重要的技术基础。

本白皮书勾画了中国移动低空智联网的发展愿景和技术发展规划，为产业在网络技术发展、技术引入规划和产品解决方案设计等方面提供参考和指引，同时希望能够与合作伙伴们共同探索、集思广益，以低空经济信息基础设施的全方位突破与革新，助力低空经济腾飞。

本白皮书的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本建议之部分或全部内容。

本报告由中国移动研究院、中国移动成都产业研究院、中国移动上海产业研究院联合撰写。感谢华为、中兴、中信科、爱立信、诺基亚、鼎桥、MTK、展锐等公司在撰写过程提供相关素材及数据支持。

目录

1. 低空经济发展趋势	01
1.1. 多元化	01
1.2. 智能化	01
1.3. 生态化	02
2. 低空信息服务需求	03
2.1. 低空通信	03
2.2. 飞行导航	04
2.3. 空域监管	04
3. 低空智联网现状及挑战	05
3.1. 技术内涵	05
3.2. 发展现状	05
3.3. 面临挑战	06
4. 低空智联网技术体系	07
4.1. 端到端网络架构	07
4.2. 通信关键技术	08
4.2.1. 空地协同新覆盖	08
4.2.2. 干扰控制新机制	10
4.2.3. 切换增强新策略	11
4.2.4. 飞控业务新保障	12
4.2.5. 可信接入新认证	12
4.2.6. 集群通信新管理	13
4.3. 感知关键技术	14
4.3.1. 灵活部署新架构	14
4.3.2. 混合波形新空口	15
4.3.3. 超级张角新硬件	16
4.3.4. 高精感知新功能	17
4.3.5. 通感协同新组网	18
4.3.6. 感知评测新模型	18
4.4. 管控关键技术	19
4.4.1. 数字化空域底座	19
4.4.2. 可信身份鉴权授权	20
4.4.3. 全生命周期管理	21
4.4.4. 感知能力一体化调度	21
4.4.5. 监视服务智能化	22
4.5. 导航关键技术	23
4.5.1. 基于北斗的高精度定位	23
4.5.2. 北斗短报文融合通信	25
4.5.3. 北斗授时时间同步	26
4.5.4. 时空数字化位置底座	27
4.5.5. 时空大数据	28
5. 总结与展望	29
缩略语列表	30
参考文献	31

1. 低空经济发展趋势

低空经济是指在3000米以下，以低空空域为依托，以各种有人和无人驾驶航空器的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[1-3]。近年来，随着低空飞行相关技术装备的逐步成熟、产业链供应链体系的持续形成、应用场景的不断丰富，低空经济这一新兴产业形态愈发受到国家高度重视。

在国家层面，2021年2月，中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，提出“发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、低空经济”，首次将“低空经济”概念写入国家规划。2023年12月，中央经济工作会议明确提出“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业”。2024年3月全国两会《政府工作报告》再次强调“积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎”，“低空经济”首次被写入政府工作报告，并被纳入新质生产力的范畴。**在地方层面**，全国各省市积极响应，纷纷加快布局低空经济发展。广东省人民政府办公厅印发了《广东省推动低空经济高质量发展行动方案（2024-2026年）》，计划三年内打造世界领先的低空经济产业高地。北京市人民政府经信局发布《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027年）（征求意见稿）》，力争通过三年时间，实现北京低空经济相关企业数量突破5000家。据不完全统计，截至目前已有29个省（市、自治区）将发展低空经济写入政府工作报告，相继出台了共207项支持性政策，竞逐“天空之城”。

2023年，我国低空经济市场规模已超5000亿元[2,4]，据中国民航局测算，到2025年，我国低空经济市场规模将达1.5万亿元，到2035年有望达到3.5万亿元[5]。随着顶层设计的逐步完善、政策支持的持续加力、市场规模稳步增长，我国低空经济即将迈入快速发展期，呈现出“多元化、智能化、生态化”的发展趋势。

1.1.多元化

“多元化”应用拓宽行业边界。低空经济不再局限于传统的航空运输，而是深入物流配送、应急救援、环境监测、空中游览等众多领域，形成丰富多元的应用矩阵。无人机物流的快速发展，使得偏远地区的配送难题得以破解；空中游览项目的兴起，则为旅游行业带来了全新的体验维度。

1.2.智能化

“智能化”技术驱动产业升级。随着人工智能、大数据、5G等前沿科技深度融合应用，低空飞行器的自主导航、智能调度、数据分析能力大幅提升，推动低空产业向更高效、更安全的智能化方向迈进。另外，智能算法优化空域管理，减少空中拥堵，确保飞行安全，同时降低运营成本，提升整体经济效益。

1.3.生态化

“生态化”模式构建协同体系。低空经济的发展强调产业间的融合共生，形成包含技术研发、制造生产、运营服务、政策监管等环节的完整生态链。地方政府与企业紧密合作，共同探索低空经济的政策创新与商业模式，推动产业链上下游协同并进，打造有利于创新涌现与价值共享的生态环境。

综上所述，低空经济正乘着“多元化、智能化、生态化”的浪潮，不断拓宽发展空间，深化技术应用，促进产业融合，不仅为全球经济增添新动力，也为人们的日常生活带来了前所未有的便捷与惊喜。

2. 低空信息服务需求

低空经济产业链涵盖低空生产制造、低空基础设施、低空行业应用上中下游全产业链，产业链条长，价值潜力大。信息服务是低空经济的重要组成部分，我国在信息通信行业具有全球领先优势，有助于带动低空经济产业由初期的生产制造为主向未来的数智化运营服务快速演进。



图1：低空信息服务支撑低空经济快速规模化发展

随着低空经济应用场景的多元化，低空的信息服务的的需求也日益增长，主要体现在以下三个方面：一是**低空通信需求**，主要是面向广域超视距的无人机数据和图像传输需求；二是**飞行导航需求**，主要是面向广域高精度的无人机定位需求；三是**空域监管需求**，主要是面向广域全类型的无人机感知与管控需求。这三大需求共同推动着低空信息服务行业不断发展，为低空经济的繁荣注入强大的动力与活力。

2.1.低空通信

通信构筑低空经济之基。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地面站间进行数据传输（简称数传）或图像传输（简称图传）。**数传**是指传输无人机飞行控制和飞行状态等信息，特点是小数传包，但对网络连续稳定覆盖、传输时延和可靠性要求高。通常飞控类数传的端到端时延需求小于**100ms**，速率需求为百Kbps。**图传**是指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，具有大上行的特点，对于**1080P**和**4K**分辨率视频的典型速率要求分别为**5Mbps**和**25Mbps**。以下表1是低空通信典型应用场景及通信需求。

表1：低空典型应用场景及通信需求

低空覆盖	飞行高度	图传上行带宽需求	飞控类数传需求
外卖配送	120m以下	5Mbps@1080P	时延<100ms， 速率百Kbps
物流运输	120-300m	5Mbps@1080P	
城市巡检	300m以下	25Mbps@4K	
安防监控	300m以下	25Mbps@4K	
交通出行	300m以上	5Mbps@1080P	
应急救援	300-600m	5Mbps@1080P	

2.2.飞行导航

导航引领低空经济之路。在物流运输、应急救援、农业植保、电力巡检等领域，对低空飞行器的定位和导航提出了更高要求，包括实时精确定位和复杂环境稳定导航等。一方面是低空飞行器在执行精细化作业时（如测绘、农业喷洒、电力巡检），需要厘米级的高精度定位，以确保飞行线路及作业点准确，提高作业效率 and 安全性。另一方面是低空飞行器在飞行救援时，需要随时掌握自身位置和状态，以便在复杂地形和恶劣天气条件下能够安全飞行。进一步需求飞行器路线追踪、偏航警告、位移警告等增强能力，为飞行引导提供全面支撑。

2.3.空域监管

监管守护低空经济之序。随着低空空域的开放，公安、民航、军队、交通局等管理部门，对无人机监管的需求愈发强烈，主要需求场景包括低空空域监管、要地安防、机场跑道入侵、物流航线监视等。一方面需要对合作类无人机进行监视与服务，检测已注册的合法无人机是否按规定路线合法飞行，感知无人机位置、高度、航向、速度等信息并反馈给管控平台，通过对各航线上无人机飞行状态信息的统计和分析，对无人机飞行路径进行实时调整，确保飞行有序可控。另一方面需要对非合作类无人机进行探测与反制，检测是否存在非法无人机入侵空域，即时发现并预警任何未经许可的“黑飞”入侵。当探测到空域中存在“黑飞”物体时，快速反馈给相关管理部门进行应急处理,确保空域安全。以下表2是低空空域监管的感知指标需求。

表2：低空空域监管感知指标需求

类型	感知RCS	漏检率	虚警率	感知高度	感知速度	距离分辨率	感知精度 (水平/垂直)
合作类 无人机监管	0.01-2m ²	≤5%	≤5%	300m	≥10km/h	10m	≤10m
非合作类 无人机监管	0.01-2m ²	≤5%	≤5%	300m	5-100km/h	10m	≤20m

3. 低空智联网现状及挑战

为满足以上三大低空经济信息服务需求，低空智联网应运而生。低空智联网是依托空天地一体化网络基础设施，以先进的信息通信、人工智能、大数据等技术手段，构建的**网联化、数字化、智能化**网络体系，旨在实现**低空通信、导航、监管一体化服务**。

3.1. 技术内涵

第一，低空网联化，空地一体的网联化变革。通过整合地面蜂窝网、卫星系统等多种通信设施资源，确保低空网络全方位立体覆盖。进一步依托地面蜂窝网实现探测感知与通信的协同作业，构建无缝连接、高度集成、功能丰富的低空网络，为无人机网联化管理提供稳定可靠的网络环境。

第二，低空数字化，空域与航线的数字化转型。借助先进的数字化技术，将低空空域转化为多层次、清晰可见的“数字道路”，为无人机飞行提供精准导航与规范指引，显著提升飞行的效率与安全性。

第三，低空智能化，感知与决策的智能化升级。利用智能感知技术，精准识别并区分不同飞行物，有效避免潜在冲突风险。同时，结合大数据分析和人工智能算法，实时分析和处理飞行数据，为用户规划并优化飞行路径，展现未来低空交通的智能化管理与服务能力。

3.2. 发展现状

我国低空经济发展刚刚起步，低空通信、导航、监管等技术发展尚不完善，传统点对点通信、卫星定位、低慢雷达等技术存在**覆盖距离短、连续组网难、定位精度低、监管能力弱**等问题。

传统无人机通信技术主要是点对点通信，采用WiFi等通信制式，仅能局域传输，无法连续组网，业务速率受限；部分企业新建私有广域通信网络，成本高，业务速率低，且无法服务其他企业；而网联通信可通过整体网络覆盖优势，实现广域超视距传输，能够满足高清视频等各类业务传输要求。

传统无人机导航技术主要是卫星导航，定位精度相对低，约10-30米；而基于网络级RTK（Real-time kinematic，实时动态载波相位差分技术）的高精定位技术，定位精度可达厘米级。主要通过地基增强基准站网，接收处理全球卫星导航系统数据，并利用高精度定位平台计算出误差信息，向服务请求用户实时播发位置修正值，从而在用户终端上实现动态高精度定位。

传统低空探测技术主要包含低慢雷达、光电探测、频谱探测等，产业相对成熟，但存在城区难覆盖、连续组网难、可靠性不高、产业生态分散等痛点问题；而通感一体技术，感知与通信共用资源、硬件、站址，具有可连片组网、性价比高的优势，但当前还处于初期发展阶段，存在技术标准空白、产业不成熟等问题。

3.3.面临挑战

通信网联化、定位高精化、通感一体化是低空智联网未来技术发展方向。面向未来发展，构建网联通信、高精定位、通感一体的低空智联网，还面临网络覆盖待增强、核心技术待突破、商业模式待探索三大挑战。

一是网络覆盖待增强。无人机飞控数据传输需要连续稳定的网络覆盖，图传业务对上行速率有较高要求，基于网络级RTK的高精定位需依托蜂窝网承载差分数据传送，仅靠现有的地面蜂窝网，较难满足低空网络立体覆盖要求；与地面蜂窝网相比，卫星系统具有覆盖广、成本低、可覆盖所有高度空域等优势，但存在通信容量低、产业尚不成熟的问题。低空丰富的业务场景和不同高度的覆盖需求、自由传播引起的强干扰等，导致低空网络覆盖方案异常复杂。

二是核心技术待突破。低空智联网面临低空广域连续覆盖需求强、飞控数据可靠性要求高、导航定位精度要求高、通感一体标准空白、实时监管难度大等挑战，空地一体的立体覆盖技术、低时延高可靠的飞控传输保障、空地间干扰抑制、通感一体新硬件、通导融合定位、低空探测反制等技术待突破。

三是商业模式待探索。低空技术的发展涉及信息通信、航空、飞行器等多个产业，包括硬件、平台、应用、服务等技术领域。目前，产业发展处于百花齐放的初期阶段，产业间的创新技术、产品、接口等尚未实现有效的协同融合。如何打破行业壁垒，构建高效的合作机制和可持续发展的商业模式，共同研制低空智联网新技术、新产品，激发产业生态，已成为当下亟待解决的重要问题。

4. 低空智联技术体系

5G-A是对5G能力的增强和拓展，一方面增强传统连接能力，另一方面拓展通信能力边界。5G-A不仅完美契合低空飞行对高速率、低时延、大连接数等基本需求，还具有通感融合、高精定位等先进的技术能力，有助于推动低空智联向更高层次、更广领域发展。

4.1.端到端网络架构

基于5G-A的低空智联架构可以分为六大部分：包括网联终端、5G-A无线网、卫星系统、5G-A核心网、5G-A+北斗、监管服务运营平台。

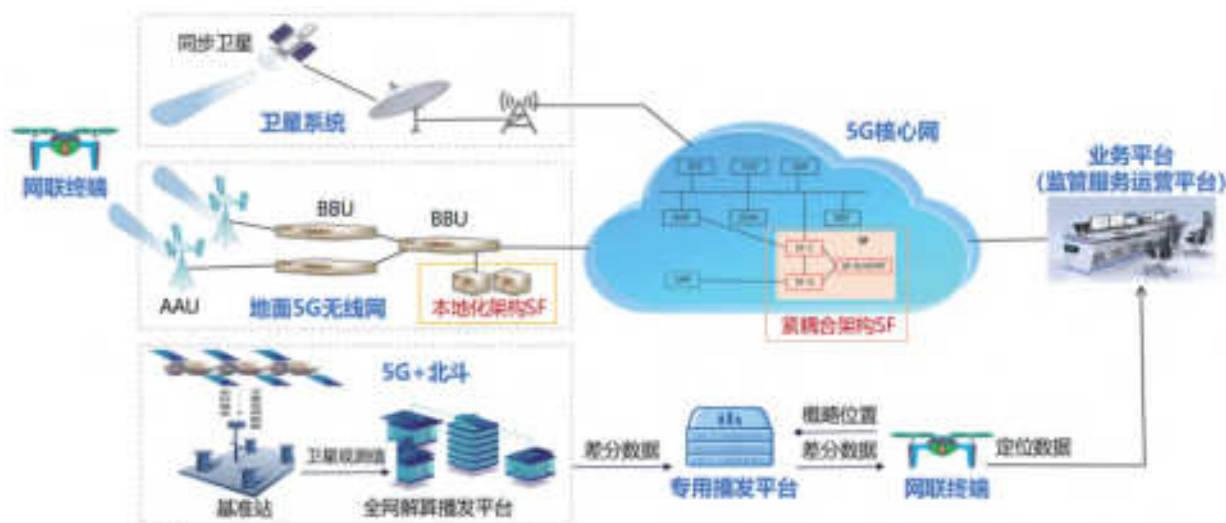


图2：5G-A低空智联端到端架构

(1)网联终端：

通过5G-A无线网或卫星系统进行通信和控制的无人机。

(2)5G-A无线网：

提供5G-A公网和5G-A专网，依托地面网络基础设施，通过优化地面公网或建设对空专网，为一定高度下的低空网联终端提供优质的通信或通感服务。

(3)卫星系统：

通过卫星网络技术，尽可能实现低空全域覆盖，特别适用于偏远地区、海洋、沙漠等地面基础设施网络难以覆盖的区域，为低空网联终端提供通信服务。

(4)5G-A核心网：

网络功能实体AMF、UPF、SMF、PCF等提供基础通信服务，为了支持无人机的身份识别、认证授权和飞行监控等，还引入了UAS NF/NEF网元。

(5)5G-A+北斗：

北斗定位解算播发平台提供高精定位计算服务，5G-A基站提供高精定位数据传输服务。

(6)监管服务运营平台：

负责整个低空互联网的监管、服务和运营：包含飞行数据管理、角色权限管理、系统扩展等功能，实现对无人机等低空飞行器的实时监控、管理，支撑客户开展航线规划及对无人机进行控制，确保飞行安全和合规性。

基于5G-A低空互联网端到端架构，中国移动秉承“空地协同、通感融合、安全可信”的核心理念，从网络、平台、应用三大方向构建“通、感、管、导”一体的5G-A低空互联网技术体系，为实现低空全域可靠的“通”、多维立体的“感”、高效可控的“管”、智能精准的“导”奠定重要技术基础。



图3：5G-A低空互联网技术体系

4.2.通信关键技术

网联化是低空通信的技术发展方向。网联通信可用于传输飞控数据、及图像视频等内容。中国移动已建成全球规模最大的4G/5G网络，为低空互联网的网联化发展奠定了坚实的网络基础。针对低空通信存在的空地协同难、网络干扰大、服务小区杂、切换次数多、飞控业务可靠性要求高等痛点问题，提出空地协同新覆盖、干扰控制新机制、移动性增强新策略、飞控业务新保障、可信接入新认证、集群通信新管理等关键技术，全方位提升低空网络覆盖率，降低对地面邻区干扰，实现无人机可信接入，保障飞控业务高可靠性传输。

4.2.1.空地协同新覆盖

针对低空立体网络覆盖不足的问题，在综合考虑业务需求、承载能力、建设成本的情况下，以“空地协同、分层分域、按需部署”的策略进行空地立体网络覆盖。在满足业务需求的情况下，优先复用地面网，按需新建低空网，卫星网可作为广域覆盖层。

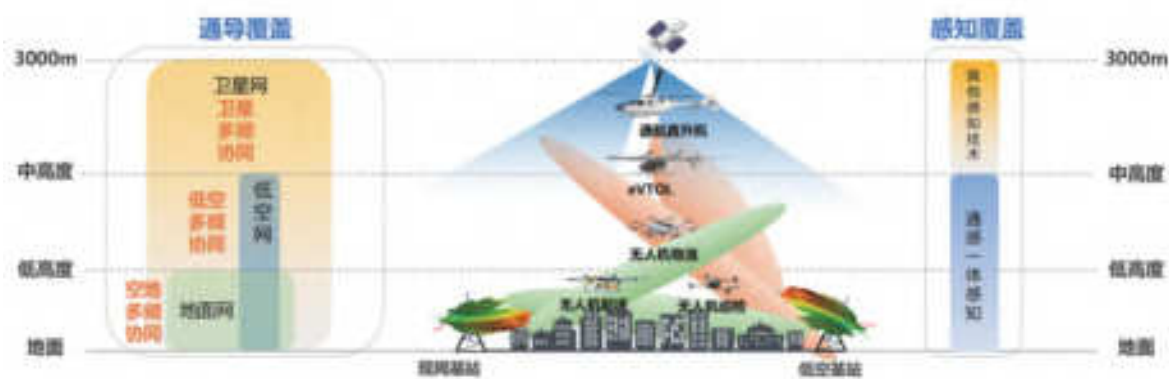


图4：空地立体协同覆盖

复用地面网，通过优化后进行较低高度低空覆盖，具有成本低、商用快的优势，但不具备感知能力。对于有通信需求、但监管要求不高、且飞行高度较低的航线飞行场景，可采用复用地面网。如下是在某城市复用地面网覆盖航线的测试结果，在测试前已对该航线进行了网络优化。

表3：复用地面网现网测试结果

航线	航线高度(m)	航线长度(m)	占用小区数	覆盖率	上行>25M占比	上行>5M占比
1	60-120	1000	8	93%	93.37%	100%

新建低空网，具有局域覆盖性能好、业务速率高、兼顾通信和感知等优势，可满足中高度以下的覆盖需求，但需要新投入较多的建设成本。对于通信和感知需求较高的局域区域，考虑采用通感一体设备，组网时可考虑低干扰、低成本的鱼鳞单扇区组网技术。

卫星网，具有广域覆盖优势，但容量低、时延大。卫星网与低空网或地面网相互补充，互为备份。

表4：地面网、低空网、卫星网通信承载能力分析

低空覆盖	低空覆盖能力	端到端时延	上行速率
地面网	低高度以下空域	60ms以下	约70M-90Mbps
低空网	中高度以下空域	60ms以下	约90M-120Mbps
卫星网	空域全域	低轨60ms以下，中高轨300-600ms	约10Mbps

4.2.2.干扰控制新机制

地面终端位于地面，由于建筑物、植被等遮挡，到基站主要以非视距传输为主，接收到信号的邻区数量相对少，服务小区和邻区信号强度相差大，因此地面邻区对地面终端的下行干扰和终端对地面邻区的上行干扰都相对可控。而无人机和地面终端不同，无人机飞行高度更高，可越过建筑物、植被等遮挡。因此，无人机在低空中主要以视距传输为主，可以接收到更多邻区的信号，并且服务小区和邻区信号强度差异不大，导致地面邻区对无人机的下行干扰和无人机对地面邻区的上行干扰较大。

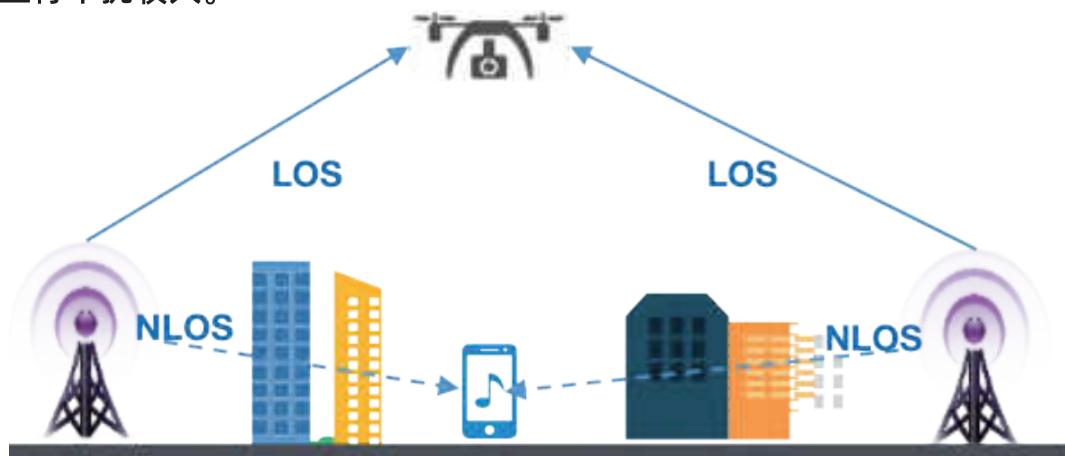


图5：无人机终端视距传播示意

为解决无人机终端引起的干扰问题，可考虑如下方案：

(1)无人机和地面终端协同调度：在通信传输过程中，低空基站为无人机分配的频域资源和多个地面基站为地面终端分配的频域资源进行协同，从而降低地面邻区对无人机的下行干扰。

(2)基于终端类型的差异化功控：识别无人机，对无人机和地面终端进行差异化功控配置，实测对无人机采用差异化功控后，无人机终端发射功率下降5dB左右，在上行性能仍满足业务需求时，降低邻区干扰5dB左右。



图6：无人机功控优化前对地面邻区干扰



图7：无人机功控优化后对地面邻区干扰

4.2.3.切换增强新策略

利用地面网旁瓣覆盖低空时，随着高度的增加，小区覆盖边界逐渐不清晰，无主导覆盖小区，存在邻区多且乱序、切换频繁等问题；而在建设低空网覆盖区域，存在无人机可能在地面和低空小区来回切换，无法保证无人机一直驻留在低空小区的问题。

首先从组网的源头上进行控制，在地面网覆盖低空切换频繁的区域，新建低空专网主瓣覆盖，从而加强空气中的主导覆盖，以改善低空无主导覆盖带来的切换多和干扰大问题。如下图所示，从地面旁瓣覆盖到低空主瓣覆盖后，服务小区碎片化程度大幅改善。（注：不同颜色代表不同服务小区PCI）

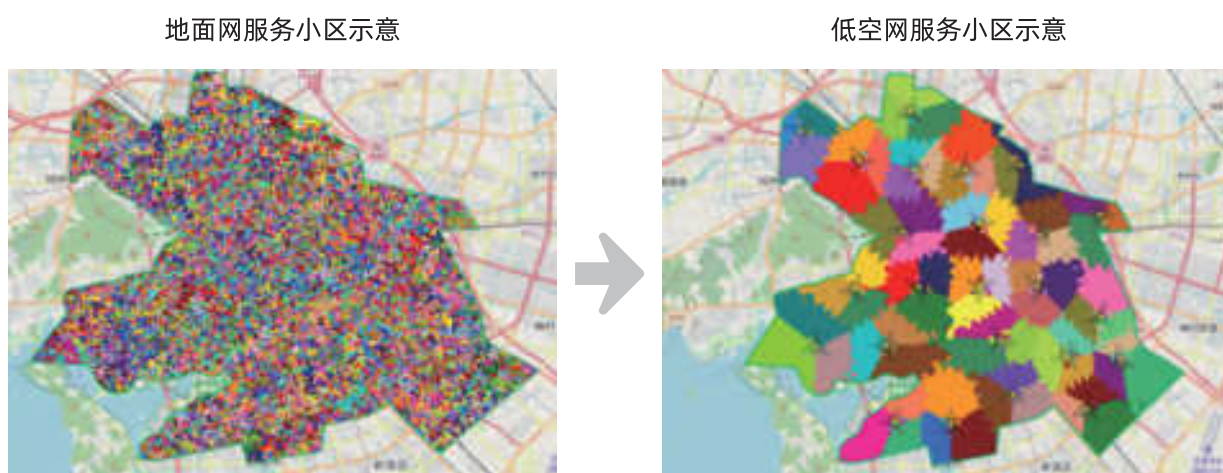


图8：无人机在地面网和低空网切换服务小区示意

除了组网源头控制外，为减少不必要的短暂切入地面小区又切回低空小区的切换，可设计基于无人机终端个性化的移动性策略，如识别无人机终端，配置无人机差异化切换频点优先级、切换门限、切换迟滞等，实现无人机在低空网络的“易入难出”，保障无人机性能。

- (1)飞行阶段：通过切换策略优化, 尽量让无人机保持在低空小区之间同频切换;
- (2)起飞阶段：无人机基于业务切换尽快从地面小区切换到低空小区;
- (3)降落阶段：无人机基于覆盖切换根据信号强度切回到地面小区;



图9：无人机在低空小区切换示意

在R18中，针对无人机的测量报告进行了增强，增加了飞行轨迹上报、基于高度的测量上报、基于干扰检测的测量上报等增强内容。基站可根据无人机的飞行轨迹、飞行高度和干扰情况等信息选择更合理的目标小区。

4.2.4. 飞控业务新保障

根据传输数据的类型不同，业务需求可分为数传和图传两大类。数据传输主要包括无人机飞行控制及飞行状态等信息，飞控数据对网络可靠性有较高要求。图传指传输无人机摄像头采集到的图像和视频等信息，主要用于人工接管、安防巡检、地理测绘等场景。图传数据以上行为主，具有大上行的特点。

为了对无人机用户进行差异化QoS保障，首先需要对无人机用户进行识别，以区别于eMBB业务。可考虑如下方式：无人机用户的SIM卡开卡分配无人机专用的切片ID；无人机小区新增无人机专用QCI承载，并基于无人机开卡切片信息绑定QCI承载。识别出无人机用户后，可基于专用QCI进行差异化QoS功能，如针对无人机专用QCI配置较高的调度优先级、适时关闭小BWP、DRX等功能、配置差异化的功控参数等。

针对无人机用户本身的飞控信息与图传数据，可考虑差异化QoS保障方案：利用飞控与图传业务的差异化特征，终端、UPF识别无人机飞控业务后，为其建立专用5QI，基站侧针对该5QI提供特殊保障（如：低码率MCS、slot重复、上行免调度等）。另外，还可针对飞控业务采用双发选收方案，通过应用层数据包复制与双链路传输，规避单条链路因信道恶化带来的链路不稳定或时延不确定问题。

4.2.5. 可信接入新认证

随着无人机应用的广泛普及，如何确保其安全、有序地运行成为了关键问题，因此亟需通过移动通信网络实现对无人机的高效、可靠的管理，而精准的接入识别及管控是推动通信网络赋能低空经济的必要一环，需在无人机接入方式中引入网联方式，并基于无人机网联能力实现对无人机接入的准确识别。

为实现网联无人机的可信接入，3GPP R17中引入新型无人机标识，可信标识需要具备域内唯一性及统一性，保证无人机在应用时可被网络准确识别；同时无人机可信标识的引入需要考对虑通信网络以及无人机应用领域的整体性影响，兼顾方案引入的实际可行性。无人机应在注册或会话建立中提供5G系统中的无人机应用领域的专用标识，通过核心网实现与无人机监管平台的交互，进而实现对UAV的认证和授权。通过基本的认证授权，通信网络还可以实现无人机的唯一识别和追踪。

通过无人机可信接入方案可以提高无人机管理的效率和安全性，降低无人机飞行中的风险。同时，基于接入识别，可以在航路优化、飞控关联、图传保障等方向提供核心网特色能力及方案，为无人机在各个领域的应用提供更广阔的空间和更可靠的技术支持。

4.2.6.集群通信新管理

同一区域海量UAV聚集场景下，采用单播方式存在如下问题：一是网络拥塞问题，飞控平台调度多个UAV，每个UAV使用不同的网络资源，导致网络资源紧张；二是数据不同步问题，网络侧下发给无人机的航路地图、位置等数据信息，但由于不同无人机占用的网络时间等资源有差异，导致上述数据的下发时间难以对齐；三是UAV碰撞问题，UAV聚集时由于距离近可能出现碰撞。

远程ID（Remote ID）是UAV的身份及位置信息，由民航领域相关的实体（如无人机交通管理系统或无人机系统服务提供商）进行分配。在无人机交通管理系统或无人机系统服务提供商的范围内，每个空中UE的标识是唯一的，该标识可以用来远程跟踪或者识别空中UE。

使用MBS进行远程ID广播，可以满足国内UAV安全管理规范要求，与WiFi和蓝牙相比，5G广播覆盖更好，抗干扰能力更强；还可以辅助UAV之间的DAA（探测与避让）。

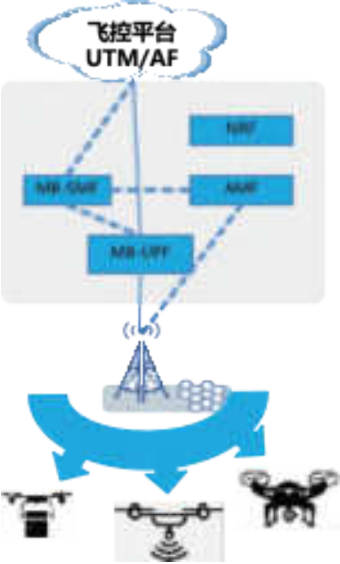


图10：基于5G-A的 UAV MBS网络架构

基于5G-A的UAV MBS解决方案具体如下：

(1)通过MBS广播技术，向同一区域广播通用数据

针对网络拥塞、数据不同步问题，由飞控平台UTM/AF下发通用数据，核心网侧基于AF设定建立下行MBS共享数据隧道至无线侧，基站在覆盖区域范围广播通用数据报文，大幅降低网络下行资源开销，避免网络拥塞，并实现数据同步下发。

(2)通过MBS广播技术，向同一区域广播UAV Remote ID和位置信息

UAV上报Remote ID和位置信息到飞控平台，由飞控平台UTM/AF下发同一区域各UAV的Remote ID和位置信息，核心网建立下行MBS共享数据隧道至无线侧，基站在覆盖区域对其广播。该方案可满足国内UAV安全管理规范要求，可以辅助UAV之间探测与避让。

4.3.感知关键技术

通感一体是低空探测和感知的技术发展方向。低空探测和感知需求主要来自低空监管和航线保护两大场景，其中低空监管场景主要需求来自于监管部门，主要用于黑飞无人机入侵监测。航线保护场景主要需求来自于物流或无人机企业，主要用于固定航线等场景的飞行保护、避免碰撞。传统的低慢雷达等探测技术存在城区难覆盖、连续组网难、可靠性不高等痛点问题。通感一体技术通过传统基站叠加雷达感知功能，实现通信、感知一体化，具备目标识别、轨迹跟踪、入侵检测等功能，具有可连片组网、性价比高的优势，但初期存在技术标准空白、产业不成熟等问题。中国移动界首创提出4.9GHz通感一体技术体系，针对感知架构和空口设计空白、覆盖距离和高度不足、精度不高、组网和测评复杂等问题，提出了敏捷部署新架构、混合波形新空口、超级张角新硬件、高精感知新功能、通感协同新组网、感知评测新模型等一系列创新技术及方案。

4.3.1.灵活部署新架构

随着5G技术的不断发展，现阶段需持续推动5G-A阶段进行基于5G架构的通感融合研究，以面对用户对通感能力引入网络的迫切需求，特别是敏捷部署、移动性支持、最小化对现有网络架构的改动，以及部分通感数据监管和不出园区的要求。

SF（Sensing Function）和应用服务器AF（Application Function）是感知业务网络架构中需要新增的控制面和数据面的网元。AF的部署方式取决于用户对感知业务的具体需求，AF还能提供地理化展示界面。新增的感知网元SF包括感知控制面功能、感知数据面功能，同时可选支持感知存储功能。控制面功能负责感知业务控制管理：包括感知业务发起、感知业务授权、感知节点选择、感知任务下发、感知目标/区域管理、感知策略控制、感知计费 and 感知结果开放等；数据面功能负责感知数据的接收与处理：包括感知数据上报、感知数据汇集及智能化处理、

多源融合感知等；感知存储功能负责感知信息存储、感知信息再加工等。在部署逻辑上，感知控制面功能、感知用户面功能和感知存储功能可独立部署，也可以分设部署。SF引入5G现网的方式、SF与现有网元的关系，决定了网络架构的定义方式。

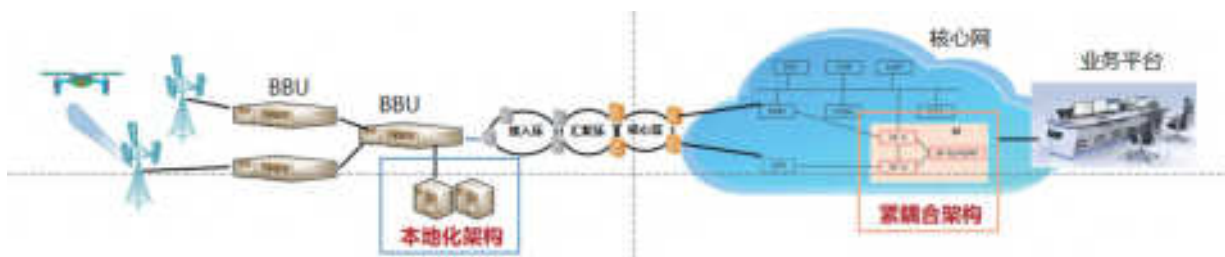


图11：通感业务网络新架构示意图

本地化架构：本地化架构是为了满足敏捷部署、尽量减少现网改造、监管感知数据不出场等实际需求所原创的通感一体网络架构方案。在本地化架构中，SF与基站在控制面和数据面均采用直联接口，除了可以提高感知空口的资源配置效率，还能够有效适配业务敏捷上线、数据不出场等通感业务部署需求。

紧耦合架构：紧耦合架构是指感知功能与现有5GC架构深度融合，重用现有核心网架构、接口和协议来实现感知能力。既支持基站感知、终端感知，又能实现与雷达、视频等Non-3GPP数据源的融合感知。

本地化架构和紧耦合架构均可在网络侧按需实现感知业务的运营管理能力，包括感知业务签约管理、感知业务鉴权管理、业务监控、数据统计等运营管理能力。

4.3.2.混合波形新空口

在面向下一代通信技术中，通信和感知完全或者高等级融合将成为一种重要趋势，其中混合一体化的波形设计是实现通感一体的里程碑式的技术，是通信感知一体化设计中至关重要的技术。为了在通信能力的基础上具备感知功能，需要设计全新的空口方案，为满足该需求，主要面临两个问题，一是设计合适的感知波形，以满足水陆空等不同场景的感知覆盖需求，二是选择合适的感知资源位置，尽量降低对通信的影响程度。

（1）波形设计：在基站自发自收的工作模式下，5G基站的OFDM信号同时收发对收发隔离度要求较高，根据目前产业的隔离度水平，发射功率受限，只能实现300米左右的近距离覆盖。而雷达系统常用的LFM线性调频波形的发送和接收是不同时刻的，发送功率不受限，覆盖距离远。提出采用连续波OFDM和脉冲波LFM相结合的混合波形，连续波覆盖近端，脉冲波覆盖远端，系统覆盖能力从百米提升至千米。

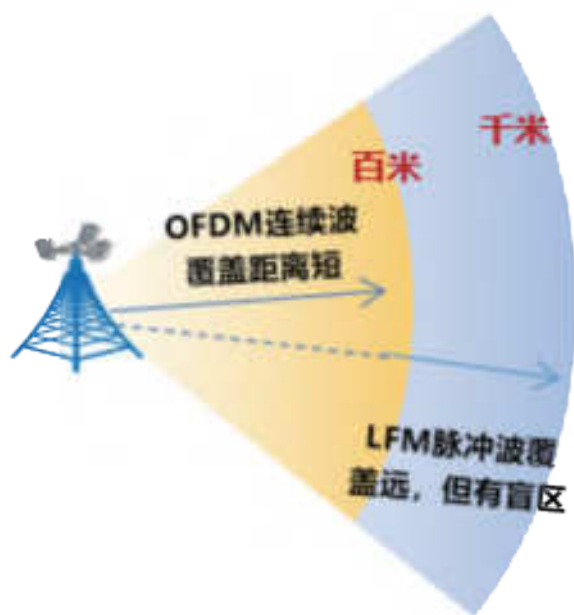


图12：混合波形示意图

（2）通感融合帧结构：以n79频段为例，目前通信帧结构为2.5ms双周期DDDSUDDSUU，需要考虑如何将感知信号融入通信信号，基于低干扰、低开销、高谱效以及对通信影响最小化的设计思路，在感知时隙的前7个符号发送感知信号，优选上行时隙后的下行时隙发送感知信号，达到了规避远端干扰的效果；感知时隙的后7个符号可用于通信也可用于感知，灵活性较高；在总开销为10%的情况下可通过调整感知波形的参数满足不同感知场景的覆盖需求。

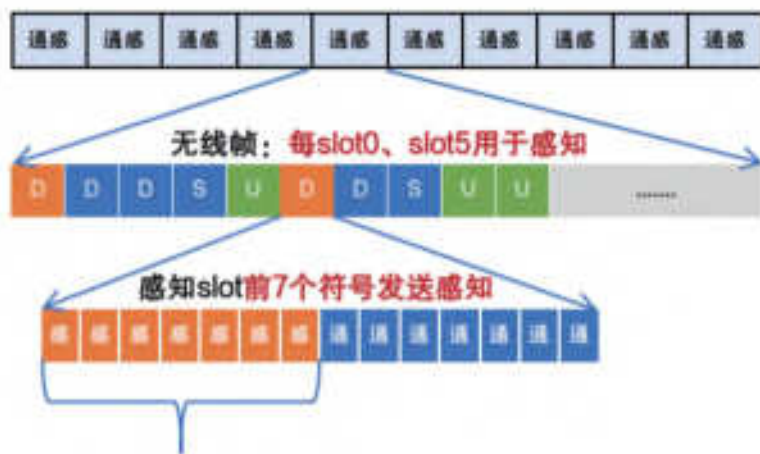


图13：边界可扩展的通感深度融合混合波形帧结构

4.3.3.超级张角新硬件

在通信行业中，感知技术的引入对于优化网络覆盖和应对复杂场景下的通信提出更高的硬件能力要求。传统2.6G/4.9GHz AAU设备波束垂直扫描角度受限，垂直覆盖角度难以扩展，地面与低空通信感知300米以内覆盖要求难以同时满足，针对上述问题，提出了超广角精扫描新型AAU硬件平台。

该平台通过创新的“宽切换+窄扫描”多粒度波束设计关键技术，旨在解决传统AAU设备在复杂通信环境中遇到的覆盖难题，赋予了AAU硬件以通感业务兼顾、俯仰角度兼顾、性价诉求兼顾等能力。该平台的垂直张角从传统的 24° 显著提升至 60° 以上，实现了对地面与低空的一体化覆盖。通过实际测试验证，这一新型AAU硬件平台显著提升了通信网络的覆盖效率与灵活性，为复杂场景下的通信需求提供了有效的解决方案。

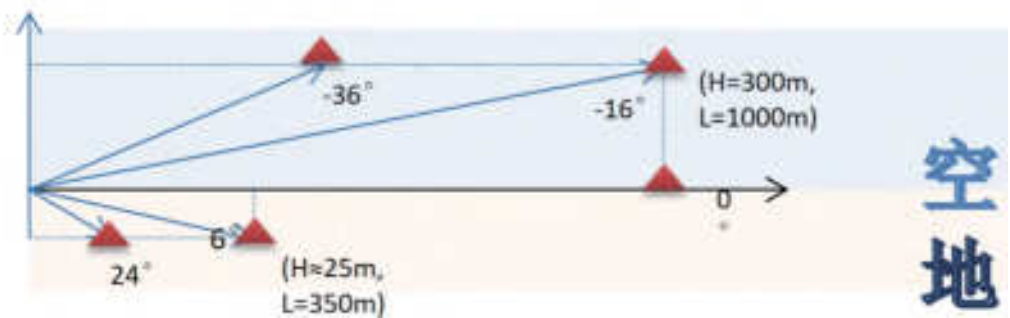


图14：超级AAU架构覆盖示意图

4.3.4.高精感知新功能

通感一体化场景下的感知任务包括目标进行测距、测角、测速，例如目标和行为识别、分类等。因此，通感基站需要获取探测目标的详细位置。通感基站的工程参数（工参）对探测目标的角度精度具有直接影响。传统的基站工参精度较低，对于低空感知等业务目标监测难以满足实际需求，例如方位角精度通常不超过 $\pm 5^\circ$ ，俯仰角精度不超过 $\pm 1^\circ$ ，经纬高度精度在10米以内，这些精度水平难以满足通感基站对角度定位的高标准要求。

为了满足通感基站对角度定位的高精度需求，必须对其工参精度进行显著提升，达到厘米级和0.5度级的精度水平。为此，引入了基于RTK（实时动态载波相位差分技术）差分定位的通感基站高精工参方案。

基于RTK差分定位的通感基站高精工参，通过在AAU中加入RTK定位模组，通过传输模组粗目标，通过有线内网传输差分数据，从而可以在基站侧实时获取该基站的高精工参信息。既降低复杂度、又提高RTK数据传输的稳定性，可低成本实现基站工参的高精定位，方位角精度 $\leq \pm 0.5^\circ$ 、下倾角精度 $\leq \pm 0.5^\circ$ 、经度、纬度、高度精度均 $\leq \pm 10\text{cm}$ ，大幅提升通感基站的感知精度。



图15：通感基站高精工参传输

4.3.5.通感协同新组网

在通信行业中，组网技术是实现业务广域无缝覆盖与保障用户体验的基石。其核心目标在于确保业务的连续性与干扰的有效协调。在通信感知一体化系统中，业务连续性涵盖了感知、通信和算力三个方面的连续性。通感协同新组网的设计目标是在满足连续覆盖情况下，保障业务监测质量。

感知连续性关注的是在业务生命周期内，感知功能在时空上的有效性。基站感知受限于信号调控和盲区问题，因此感知面临环境适应性与感知盲区的挑战。通过基站与基站之间的自发自收协同感知，可以有效减少感知盲区。在网络规划优化时，需充分考虑自发自收基站的组网特性，减少障碍物和天气变化对感知性能的影响。

通信连续性主要指的是传统蜂窝小区信号的无缝覆盖与移动性管理。在通信感知一体化系统中，通信与感知覆盖可能不一致，尤其在大规模多天线系统的波束覆盖方面。通信组网需同时考虑信号覆盖与小区间干扰问题。



图16：协同组网示意图

在异构计算和算力动态变化的环境下，需确保计算任务在迁移过程中不中断、不失败，以保障业务体验。同时，在多站协同组网业务场景中，针对多小区同时感知到同一物体，需结合智能化进行轨迹间计算和去重，选择最优轨迹以满足业务数据的连续性和准确性。

感知、通信和计算三个环节紧密相连，互为支撑。感知提供必要的数据与信息，通信负责内容的传递，计算则是对数据进行再加工以推动业务进程。任何一环的中断都可能影响业务质量和用户体验，甚至导致业务中断。因此，在通信感知一体化系统的组网设计中，应全面考虑通信与感知信号的覆盖、网络层干扰协调以及系统算力与功耗的均衡，以优化提升系统性能。

4.3.6.感知评测新模型

在通信行业的持续演进中，感知技术的集成已成为提升网络智能化水平、实现多功能一体化的关键驱动力。新业务场景的引入，推动了网络从传统通信向通感一体的转变，带来了前所未有的新机遇，同时也提出了新的挑战。如何准确评估通感一体从设备到网络的性能，成为加速通感产业成熟的关键。

针对这一需求，提出了一系列精准、高效的评价指标，以明确指导通感融合技术的研发与应用方向。这些评价指标包括基础通信指标如传输速率、频谱效率、能效、移动性、时延和可靠性等，同时也涵盖了感知技术的核心指标，如感知范围、感知精度（距离、速度、角度、位置）、感知分辨率（距离、速度、角度）、感知目标RCS、虚警（概率、目标数）、漏检（概率、目标数）、刷新率、资源开销、目标容量等。在考量不同探测环境时，可采用不同的虚警和漏检指标，比如：除了虚警率和漏检率之外，还可采用虚警目标数指标和漏检目标数作为感知可靠性的指标方式，以个/天或个/小时为单位，更适用于目标数量较少、出现频率较低的场景。

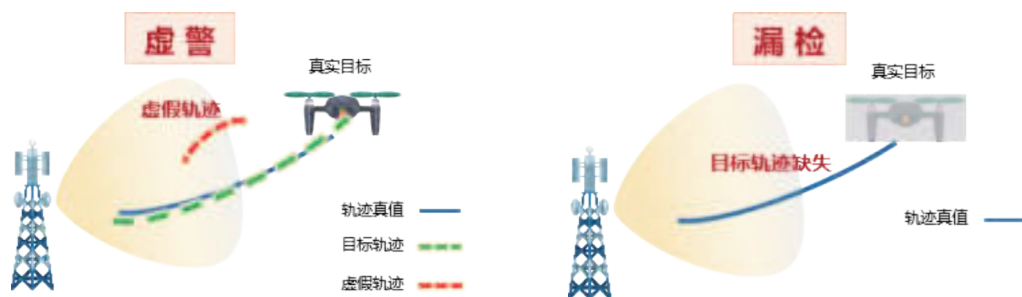


图17：虚警和漏检示意

评估技术指标时，要求提炼共性和专属技术点，重点关注感知精度、感知分辨率、漏检概率/目标数、虚警概率/目标数等关键指标。为了形成技术规范和测试方案，需形成针对虚警应用场景的测试方法和测试模型，并根据测试结果优化方案并推进标准化。

4.4.管控关键技术

综合监管服务平台针对低空空域内的飞行设备、飞行人员、飞行过程，构建一体化的监管流程，支撑低空空域各信息交互主体间的信息同步，实现监管运营服务全流程业务打通，无人驾驶航空器全生命周期管理，实现低空监管和运营服务能力应用开放，提升监管人员效率，满足业务闭环。中国移动研发业界领先的无人机智能管控平台“中移凌云”，该平台可提供全天候空域、监视、调度及垂直应用等面向低空飞行活动的规范化管理与运营服务，全方位支撑申请、审批、公示、共享等诸多维度的低空监管与服务运营需求。

4.4.1.数字化空域底座

随着低空空域中的飞行活动日益频繁，为表征低空飞行器相关信息，提高空中飞行安全性，需对低空空域进行数字化，支撑飞行活动监控与管理。低空空域数字化是以实体空域在计算机的虚拟空间内的数字化建模和编码、可视化重构为基础，将无人机在空中飞行的各要素(飞行航迹规划、空中避障、空域管理、交通管制、机场利用其用户群体等)有效连接起来。

空域网格化：为进行低空空域数字化表达，首先需确定无人驾驶飞行器规格和表达单元，将空中空域划分为网格，有效地管理飞行活动、规划飞行路径和监控空中交通。根据具体的应用需求和空域特性，确定网格的大小和分辨率，基于网格编码技术，对区域进行数字化编码，建立数字网格空域的编码体系，以统一标准实现地理、地物、空间标识一体化。

空域划设与评估：空域划设关键技术包括地理信息系统（GIS）、空中交通管理系统（ATMS）、无人机轨迹规划算法等。通过GIS技术对数据进行分析，评估空域的特性和限制。根据空域分析的结果，支撑空域划设方案，确定划分的区域大小、形状和数量。考虑空域的使用需求、空域容量、空域安全等因素，制定合理的划设方案。

空域交通系统：空域交通系统是数字化空域应用的业务闭环，涉及低空空域航路仿真模拟、航路监测、航路动态调整、异常情况识别、无人机飞行轨迹预测等方向。考虑多种目标，如最短路径、最小空域利用冲突等，进行多目标规划，以平衡不同的需求和限制。根据实时采集的数据和航路监测结果，支撑实时的飞行器的航路规划调整，避开潜在风险区域和冲突区域，实现飞行器之间的安全分流和协同飞行。

4.4.2.可信身份鉴权授权

无人机产品类型繁多，监管侧缺乏对无人机身份管理的有效的规则及机制，造成了目前无人机难识别、难监管、难处理等难题，亟需建立完善的接入管理机制实现对无人机运行的可感可管可控。

基于3GPP定义的支持无人机的识别和跟踪：通过无人机终端上报CAA级UAV ID，无人机管理平台USS/UTM设置关联CAA级UAV ID无人机的5G网络标识，通过UAS NF和USS/UTM交互实现无人机标识的可信管理。终端支持上报CAA UAV ID以及无人机鉴权信息，核心网引入UASNF网元，并升级SMF网元，要求支持UUAA-SM流程，平台与核心网对接，实现无人机身份ID管理和授权。

弱芯片影响的泛化无人机接入识别：通过用户面识别与控制面联动，无人机通过用户面数据携带特定标识的方式触发业务，通过5G核心网能力增强，由UPF识别并判断认定当前的无人机业务，触发5G核心网对无人机进行鉴权授权，同时网络侧保存解析无人机标识与网络通信标识匹配关系。终端需要SIM卡/软件升级（如SDK形式），支持携带固定格式的业务报文。核心网引入UASNF网元，并升级UPF/SMF网元，UPF可解析无人机应用领域标识，并切SMF支持UUAA-SM流程。

用户类型智能识别：网联无人机使用场景中，无人机随意插卡使用的情况普遍存在，对面向网联的无人机纳管提出了挑战。综合监管服务平台汇聚无人机标识、高精度定位信息、用户移动性分析、感知结果等多源数据，结合用户面数据监测及智能化分析能力，研究综合低空业务特征，完成低空的网联无人机用户的识别。

4.4.3.全生命周期管理

随着无人机应用的不断扩展，无人机数量的不断增加，对合作类目标，借鉴手机、车辆等成熟的管理模式，构建基于空天地一体化网络的无人机全生命周期管理系统，面向监管提供规范、标准、可靠的技术手段，保持低时延的双向通信，实现对无人机看得见、叫得到、管得住。

研发与制造：低空无人机的种类繁多，不同设备有不同的硬件、软件和通信标准，这种差异性使得设备之间难以互操作和互通，增加了设备的管理和维护成本。全生命周期身份管理推动设备生产商在设备生产之初完成无人机身份凭证联网备案，实现“一机一码”的管理体系，从源头提供符合监管要求的无人机产品，确保设备的统一规范化和安全合规性。

认证与适航：无人机驾驶航空器具有多样化、个性化的需求，目前适航认证环节缺乏基于现有设施的统一身份监管通道，结合无人机驾驶航空器具有快速更新、升级的特点，适航认证的周期也需要大量人力成本支撑。基于 SIM 卡的全生命周期身份管理服务以“一人一码”方式实现认证与适航过程中的管理。在无人机起飞前，可通过综合信息服务发送身份信息及飞行计划，监管方或服务提供方进行联网身份认证及飞行计划审核，身份及飞行权限认证成功后无人机正常启动执行任务，否则，无人机将被禁止起飞。

流通与运行：在智能化流通与运行中，无人机需要可信的追踪渠道，降低信息绑定及变更成本。低空综合信息服务用于连接各个子系统，将设备和传感器数据整合到统一集中化信息处理平台中，实现数据的互通和共享，支撑飞行过程中实时监测与权限管理。其中，权限管理包含对无人机的操作、运行和访问等行为进行管理和监督，授权过程应严格基于统一身份凭证，根据无人机的使用范围和任务进行授权管理，确保无人机的安全性、合规性和可靠性。

监管与服务：全生命周期的身份管理能力进一步支撑监管的科学化、规范化、标准化，既向监管方提供了全局视野，强化了合作无人机的管理效率，降低黑飞误检率，同时也为其他服务提供商提供了可靠的实时信息反馈。基于现有基础设施完成低成本监管通道搭建，通过技术手段保障监管的效率和成本，建立起全方位、多层级、多方参与的管理体系。

4.4.4.感知能力一体化调度

现有的通信感知一体化的落地仍存在面向特定的低空监管用户，分级不明确，缺少对场景的合理建模；组网协作机制尚不清晰，对干扰规避手段尚不明确，多目标识别能力仍有待提高；未建立综合化，立体化的低空监管数据平台，感知和通信业务割裂，协作机制尚不清晰等难点。

感知能力一体化调度提供高效、合理的一体化低空监管解决方案，具备探测统计、航线管理、飞行计划、地图管理、飞行告警、数据存储与回放、区域规划、

探测基站管理等技术能力。感知能力一体化调度充分挖掘5G网络的感知能力，与现有低慢雷达、光电探测、无线电探测等技术充分融合，构建低成本，大范围，密集连片覆盖的低空低慢小目标通感一体的立体化探测监管能力。

场景分类定级：面向低空监管、低空航线等场景，结合建筑密度、人员分布和感知需求等因素，通过分析电磁波传播特性，建立场景分级评估方法。对于不同场景下的感知需求和通信要求进行综合考量。

智能网络协同：支持未来面向应用的调整，实现感知能力的可持续监控和优化。建立感知能力监控体系，提高感知系统的可管理性和可靠性，与通信核心网深度融合，实现一网多能的目标，提高感知系统的整体性能和效率。

多源数据处理与雷视融合：构建智能化的多源异构数据汇聚和处理中心，实现光电、频谱、雷达等多种探测手段的深度融合。结合基于摄像头阵列的空域覆盖和计算机视觉感知，实现低空目标识别和监控，与AI能力的深度融合，提高多类型目标的检测识别能力。在复杂和杂乱的环境中，面临潜在遮挡的情况的准确目标识别、多路传感器的集成和校准等关键技术问题，通过数据注册、融合、目标检测和追踪，提高雷达视频融合系统的准确性和效率。

4.4.5. 监视服务智能化

航迹规划与管理：目前已具备查询无人机当前及上次访问的TA/cell信息，无法获取或分析无人机历史及未来位置或轨迹，无法实时发现无人机轨迹异常情况，实时分析或预测无人机实际轨迹与计划轨迹的偏差。核心网AMF引入AI分析模块或者调用NWDAF的AI分析能力，实时采集飞行器位置信息，并进行分析或预测，对于无人机轨迹异常、或与计划轨迹的偏差等情况可以开放给无人机管理平台或PCF，进行实时管控。

资源调度与保障：上行视频回传、飞控数据传输对高稳定带宽和实时业务保障能力提出诉求，但上行带宽资源紧张，保障手段受限。在网络架构上，通过引入智能分析单元（NWDAF）实现实时数据采集、分析，形成更适配业务需求和无线资源保障策略。在流程上，将智能分析能力嵌入业务体验的保障流程，如AI分析订阅、业务识别、体验感知、拥塞预测、智能QoS决策等。

智能分析决策：融合位置，地理，网络，任务等多种数据信息，向第三方提供全域覆盖的智能辅助决策能力，以大幅提高低空综合信息服务的数字化水平。在无人机通信中，网络资源包括无线频谱、带宽、信道等。通过动态路由选择，可以根据当前网络资源的利用情况和无人机的通信需求，实时调整通信路径，选择最优的路由方式，使得各个无人机之间的通信负载均衡。智能分析决策为通信保障、航线划设、飞行避障、多任务协同、监管调度等功能提供强大的智能数字底座。

4.5.导航关键技术

低空飞行器在空域内飞行的复杂性和安全性要求高，传统GPS等卫星定位能力已难以满足需求，面向无人机物流配送、测量测绘、农业植保等低空服务场景需求，迫切需要更精准的导航技术来保障飞行器的安全和效率。面向低空飞行器在复杂环境下的定位、避障和航路规划需求，提出5G+北斗星地一体融合增强关键技术，为低空经济提供高精度PNTC（定位、导航、授时、通信）增强能力。中国移动依托现有5G站址部署4400个北斗地基增强站，建成全球规模最大、覆盖最广、制式最新的北斗高精度定位地基增强系统。平台核心解算算法实现自主可控，以北斗系统为核心，同时兼容GPS、GLONASS、Galileo等主流卫星导航系统，实现全国范围内高精度定位坐标解算。该系统可为低空飞行器等设备提供动态厘米级（水平 $\leq 5\text{cm}$ ，垂直 $\leq 8\text{cm}$ ）的高精度定位服务，可用性达到99.99%。

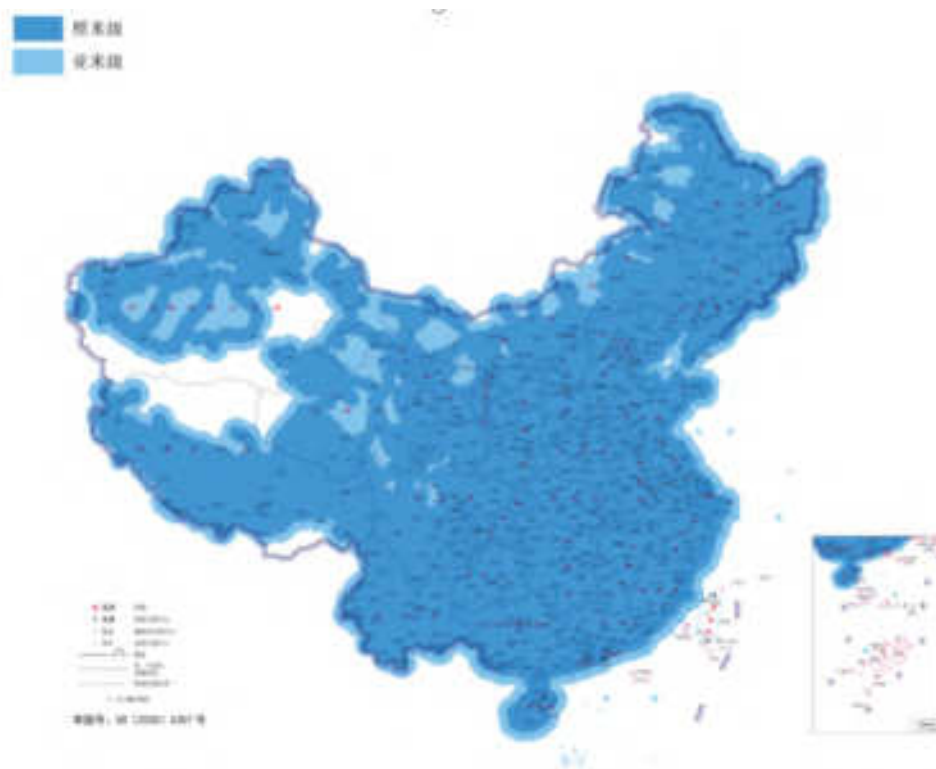


图18：中国移动高精度定位能力全国覆盖范围图

4.5.1.基于北斗的高精度定位

传统卫星导航定位精度约为10m以上，在无人机巡检、无人机智慧农业作业等场景难以满足低空飞行器的高精度飞行任务要求。为了提高定位精度，北斗地基增强系统通过建设地面固定的监测站网，获得卫星长期观测数据，并将数据汇聚至数据处理中心，数据处理中心根据观测值求算当前区域的钟差、轨道、电离层等误差信息，系统将这些误差“改正数”信息播发给飞行器终端，使得飞行器终端能快速解算出高精度位置信息。

1.地基增强定位解算播发平台技术

北斗导航卫星是利用电磁波以载波的方式将导航传送在终端设备上，信息在传送过程中需要穿过地球大气层，而大气层中的电离层、对流层和多径效应等都对电磁波具有一定的折射效应，从而影响定位精度。为满足低空智能融合系统飞行器对于高精度定位导航的需求，需建设北斗地基增强定位解算播发平台，实现对北斗、GPS等多种卫星系统进行识别计算，补偿和校正卫星信号中的误差因素，如电离层和对流层延迟、多路径效应等，形成差分纠偏数据并播发给飞行器定位终端以供其纠正定位结果，从而实现实时厘米级精度的定位效果。

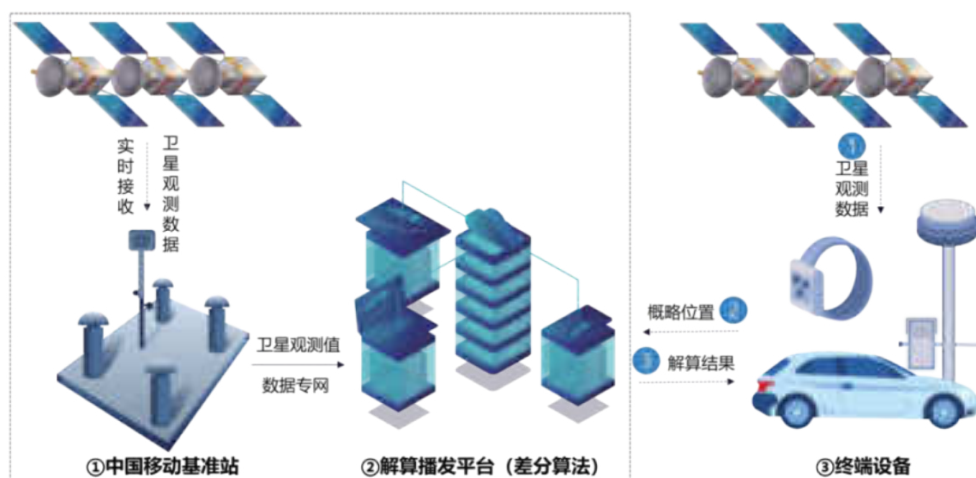


图19：地基解算播发平台业务交互流程图

2.电离层干扰抑制技术

电离层干扰是影响高精度定位导航服务性能的重要因素之一。太阳黑子极年临近，电离层扰动加剧，电离层的扰动变化会导致信号折射、延迟、衰减和闪烁，从而影响无线电通信和导航系统。剧烈无规则活跃的电离层扰动会加重电离层误差的不确定性，导致信号延迟、信号强度不稳定和定位精度降低，影响导航性能。仅凭经验无法准确感知和应对电离层干扰，常规纠偏算法也无法实时或及时解决问题，时常出现在部分空旷环境下无法固定解等定位性能问题，会导致无人机无故偏航等现象发生，如何抑制电离层扰动影响是行业难题。

在高精度卫星定位场景中，电离层干扰抑制技术是一项至关重要的技术，它用于减少或消除由电离层引起的信号误差，从而提高全球导航卫星系统（GNSS）的定位精度和可靠性。抑制技术通常包括先进的信号处理算法和模型，用以估计和校正由电离层引起的信号延迟和弯曲。在高精度地基增强系统中，可以利用多频多模接收机的基准站，通过多卫星系统多频点组合等方式来消除电离层影响，同时基于电离层云端协同算法，通过高精度定位平台算法优化与电离层实时监测，向无人机飞行器播发电离层残差结果，以便终端调整解算策略，提高飞行器导航系统的可靠性和稳定性，提升飞行安全，减少事故发生率。

3.星地一体融合定位技术

卫星地基增强高精度定位系统多基于地面移动通信网络实现差分值播放，但在海洋、沙漠、偏远山区以及通信网络信号弱覆盖区域，由于缺少地面网络通信覆盖，地基增强高精度定位系统存在服务不可达和不连续等风险。这种服务覆盖局限性导致低空飞行器在这些区域的定位精度下降，导航信号不稳定，甚至可能出现信号中断，严重影响飞行器的定位稳定性和任务执行效果。而卫星网络虽然较地面通信网络容量低、成本高，但却有覆盖广泛的优点。

为了给场景复杂的低空经济提供可靠连续的定位服务，确保任务的高效和安全执行，星地一体融合定位是目前的技术方向之一。星地一体融合定位技术利用智能算法的深度融合，实现地基和星基全场景感知和切换，类似于手机在4G、5G、WiFi之间自动切换信号，升级后的无人机等飞行器定位终端可以根据环境网络状态、信号质量、大气电离层和对流层的影响等因素，在地基服务、网络星基服务、星基增强服务之间实现自动切换，适应各种复杂的作业环境，如城市峡谷、森林覆盖区、高山地区等，提升飞行器的适应能力和作业效率。

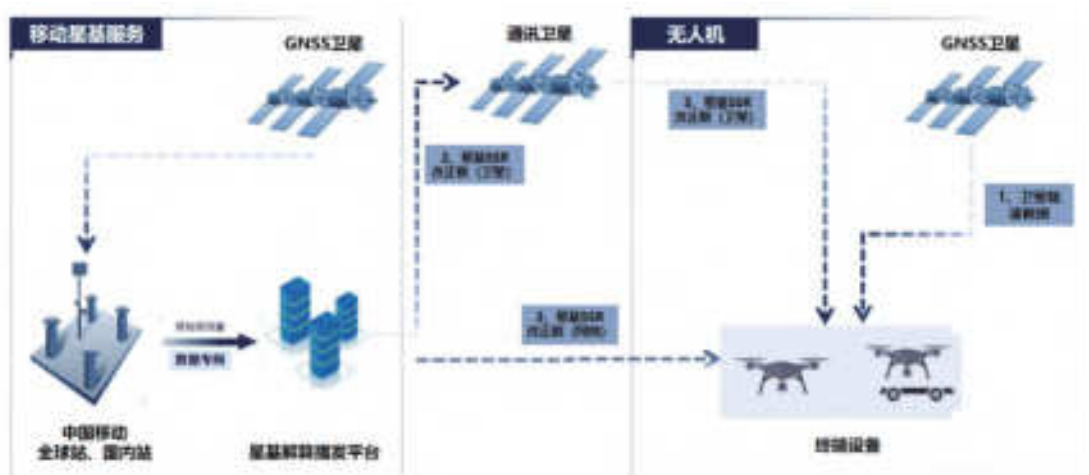


图20：星基解算播发平台业务交互示意图

4.5.2.北斗短报文融合通信

低空飞行器对于通信覆盖的完备性与可靠性有较高的要求，但在海上、山区、偏远或地形复杂的区域，存在移动通信覆盖盲区以及突发地质灾害而产生通信中断等问题。短报文通信，基于北斗卫星导航定位系统实现，通信终端之间可以通过卫星信号进行双向信息传递。在无地面网络覆盖区域，北斗短报文通信可以发挥基础通信的补充与应急备份通信的作用。在低空智联网构建过程中，需充分考虑无人机多场景跨区域作业的需求，需建立一张稳定、可靠、连续等通信感知网络，短报文通信是低空智联网的重要一环，可显著增强通信服务的完备性和可靠性，提升低空飞行器协同通信、精准控制和任务可靠决策等能力实现水平。



图21：低空经济北斗短报文通信网络架构示意图

网络架构融合：建立短报文融合通信平台，分别与北斗网络和地面移动网络对接，统一实现两张网络的协议适配和互联互通，为用户提供“不换卡、不换号、不增加外设”的便捷短报文服务模式。通过融合通信平台与北斗网络对接，实现北斗短报文格式解析，短报文用户认证等功能；通过融合通信平台与运营商地面移动网络对接，实现消息路由、业务运营、客户服务、协议适配等功能。

用户认证融合：由于卫星网络系统资源受限，无法保证用户通过卫星网络空口实现身份鉴权认证信息的及时交互。为满足有限资源开销前提下的用户身份认证和网络接入时的安全加密要求，通过基于移动网络的密钥协商流程和鉴权加密算法，可实现星地融合网络下的鉴权认证与安全传输。

4.5.3.北斗授时时间同步

授时是将某一标准时间信号传递给需要时间信息的用户，以使整个系统时间同步。低空经济主要涵盖感知、规划、控制三个关键的技术层面，而时间同步是实现这些功能协同运作的前提。整个系统需要选择统一的时钟源，提供时间标准，通过PPS、NTP、PTP等形式完成授时。由于低空智联网包含大量空中基础设施、地面信息基础设施等，为硬件基础设施之间有机协调、密切配合提供标准的时间依据，需在网内部署时间同步设施保障系统内各设备或平台间的时间同步，这一整体流程确保了多数系统内传感器数据能在统一时间框架内准确分析处理，满足低空飞行业务高速运转和安全保密的需求。

统一时间标准：低空智联网的时间系统一般包括GNSS时间接收装置（接收机及天线）、中心母钟、通讯系统、多路输出通讯链路。为保证安全性和可靠性，系统可按一主一备方式布置两个时间同步时钟基础设施。系统正常运行时，使用主中心母钟时间作为标准时间，并保持主备母钟时间同步。当主中心母钟出现故障时，系统及时启用备用进行授时服务，并发出故障告警。

地面时间同步：中心母钟设备设有同步时间码输出接口，提供标准时间信号，通过通讯链路（如以太网等）向系统发送全时标准时间信号，网络中的地面同步设备通过发送和接收带有时间码的数据包，使地面同步设备时钟与标准时钟同步。

空中时间同步：空中基础设施（如搭载智能感知、气象传感、电磁场测量等系统的无人机）、试验无人机和运营飞行器，一般都会配备GNSS信号接收模块用于定位、导航、授时。因此，在GNSS信号良好的情况下，飞行器可通过GNSS获得高精度授时。在GNSS信号不完整甚至丢失的情况下，飞行器通过地空通讯链路（如4G/5G无线网络）、其他无线广播链路等获取地面时钟系统的授时信息，融合不完整GNSS授时信息，解算标准时间。

4.5.4.时空数字化位置底座

低空场景下的时空数字化位置底座技术致力于提升低空时空数据精细化治理及多元化应用能力。基于航线轨迹、飞行位置数据等，进行飞行轨迹优化处理和飞行特征分析，建立后评估分析机制，打造专业的位置轨迹管理能力，实现低空空域内位置数据的全生命周期管理；依托北斗高精度定位和云服务技术，通过空域隔离划分、航路航线规划和电子围栏设置等，有效保障小范围内高密度飞行器的安全飞行，避免任务冲突，是实现低空飞行器的精准监管应用重要技术。

时空数据治理：针对低空场景时空数据管理需求，构建统一的时空数据治理能力，实现存储和管理二三维地图数据、北斗高精度定位数据、飞行传感器数据以及各类业务数据能力，具备位置加密算法与图片/视频脱敏的敏感信息保障能力和高效的数据查询与分析能力。

航线轨迹优化：针对飞行器定位存在设备信号不稳定、定位误差，从而导致轨迹异常的问题，时空数字化位置底座服务可对航线轨迹优化处理，实现轨迹的去噪、抽稀等，实现异常轨迹点剔除和轨迹抽稀，在保留航线路径信息和特征的同时，有效保障轨迹精度。

飞行特征分析：针对飞行过程中的行为特征开展量化分析，基于密度聚类分析算法，通过预设飞行停留时间与停留距离阈值、记录飞行停留点时序、飞行停留点位置表等进行停留点分析；基于位置速度、方位角等数据，利用速度检测、急加速检测、急减速检测、急转弯检测算法等实现飞行器异常行为分析。

多元融合定位：针对低空场景融合定位需求，时空位置底座在支持5G、UWB、蓝牙和GNSS高精度定位的融合定位底座能力基础上，可进一步支持通感定位等多重定位能力。

4.5.5.时空大数据

随着低空经济发展，低空空域的管理对象和数据量将不断增加。数据获取与整合面临挑战，一是大量多元异构数据需要处理，处理难度大幅增加，包括飞行器的位置、姿态、航向及空域监管设备数据等，不同来源的数据格式、精度、时效性差异较大，处理难度大；二是系统需要支持大规模数据实时处理、高效分析和可视化展示能力，现有技术难以满足需求。为应对挑战，需具备以下技术能力。

多源数据融合技术：低空飞行器在执行任务时，需实时感知周围环境，包括地形、天气、空中交通等信息。通过融合来自RTK、雷达、卫星、航空摄影、地面传感器等多源数据，提升飞行器态势感知，确保飞行安全。

时空智能技术：面向低空经济领域，结合高精度定位、计算机视觉、时序分析算法、空间算法等，提供飞行器身份识别、空域动态规划管理、精准低空气象服务、空域适航性评估及空域流量预测等功能，有效支撑智能化的低空管理和应用。

时空大数据技术：基于各自空域信息感知设施、运行中的合作飞行器和其他方提供的空域规划信息、空域环境信息、空中交通信息以及相关的地面环境和人文信息，形成低空知识库及规则库。通过数据汇集，构建低空动态数据场，从而支持宏观（全局）空域管理能力和微观（具体）飞行管理能力的建设。

5. 总结与展望

本报告全面剖析了低空经济发展背景及信息服务需求，并从运营商视角展示了低空智能网的内涵，同时分析了发展低空智能网的挑战，最后重点介绍了中国移动在低空智能网领域的攻关成果和发展方向。中国移动以“通信、导航、监管”三大信息服务需求为导向，全力打造低空经济信息基础设施，已建成全球规模最大的4G/5G网络、星地一体高精度定位网，首创提出4.9GHz通感一体技术体系，打造业界领先的实验室测试平台和最大规模的4.9GHz+毫米波通感一体试验网，研发业界领先的无人机智能管控平台“中移凌云”。基于中国移动的特点和优势，构建了业界首个“通、感、管、导”一体的5G-A低空智能网技术体系，致力于实现全域可靠的“通”、多维立体的“感”、高效可控的“管”、智能精准的“导”。

展望未来，我们将继续发挥引领作用，积极倡导产业协同创新，深度融合技术、产品和服务，不断提升低空智能网的网联化、数字化、智能化水平和应用价值。加强与各行业的交流合作，共同探索低空智能网发展的新路径、新模式，以低空智能网核心技术支撑低空经济高质量发展。让我们携手并进，共同开创低空经济发展新时代！

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
AMF	Authentication Management Function	认证管理功能
UPF	User Plane Function	用户平面功能
SMF	Session Management Function	会话管理功能
PCF	Policy Control Function	策略控制功能
UAS	Unmanned Aerial System	无人机系统
UAS NF	UAS Network Function	无人机系统网络功能
QoS	Quality of Service	服务质量
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人机
CAA	Civil Aviation Authority	民航局
AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
RTK	Real-time kinematic	实时动态载波相位差分技术

参考文献

- [1]前瞻产业研究院. 重磅! 前瞻产业研究院发布《2024年中国低空经济报告》[EB/OL].(2023-01-26)[2024-06-20].<https://f.qianzhan.com/aboutus/detail/231226-68eadbf7.html>
- [2]工信部赛迪研究院.《中国低空经济发展研究报告（2024）》[R]. 2024.
- [3]人民日报海外版. 首次写入政府工作报告——“低空经济”加速起飞[N]. 中国政府网, 2024-04-02.
- [4]中国政府网. 2023年我国低空经济规模超5000亿元[N]. 2024-02-28. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202402/content_6934828.htm.
- [5]中国工业新闻网. 到2025年我国低空经济的市场规模将达到1.5万亿元[EB/OL]. (2024-06-06)[2024-06-20]. <https://wap.cinn.cn/p/301748.html>.





低空智联网技术体系白皮书