

5G-A 通感一体典型场景 技术解决方案白皮书



前言

PREFACE

通信感知一体化 (Integrated Sensing and Communication, ISAC), 简称通感一体, 作为 5G-A 重要创新技术之一, 为移动通信网络发展带来蓬勃驱动力。通感一体技术的革命性创新在于, 通过复用一套设备构建两张网络, 实现通信与感知两种业务深度融合, 拓展通信网络的功能边界, 亦为感知业务的普遍化应用奠定基础。

通感一体技术的引入, 使得通信与感知两网信息协同交互, 实现通信环境重构与感知性能优化的双向互补, 提升整体网络性能。随着算力和智能化成为现代网络建设不可或缺的部分, 通过集成先进的计算和智能感知处理技术, 通感一体网络能够更高效地处理和分析海量感知数据, 为各种应用场景提供更为精准、快速的感知服务。

本白皮书回顾了通感一体技术的发展历程, 介绍了目前国内外标准化进展, 深入阐述了通感融合业务指标定义、技术方案与组网方案, 并重点呈现了通感一体典型场景和解决方案, 为推动通信感知一体技术方案创新、落地网络建设和未来产业发展提供有效参考。

目 录

一、 发展背景概述	1
1.1 发展背景	1
1.2 技术能力	2
1.3 服务价值	2
1.4 发展规划	3
二、 典型应用场景	3
2.1 低空经济	3
2.2 低空安防	4
2.3 航道管理	4
2.4 海面监测	5
2.5 地空一体	5
2.6 其它场景	6
三、 网络与业务指标定义	7
3.1 通信指标定义	7
3.2 感知指标定义	7
3.2.1 成熟指标	7
3.2.2 细化指标	9
3.2.3 创新指标	10
四、 典型场景技术解决方案	11
4.1 产品技术方案	11
4.1.1 收发模式	11
4.1.2 网络架构	11
4.1.3 空口设计	12
4.1.4 设备形态	12
4.1.5 高精工参	13

4.1.6 感知平台	13
4.2 规划组网方案	13
4.2.1 规划方法	13
4.2.2 站址结构	14
4.2.3 干扰控制	14
4.2.4 移动性管理	15
4.3 场景解决方案	15
4.3.1 低空经济	15
4.3.2 低空安防	16
4.3.3 航道管理	18
4.3.4 海面监测	19
4.3.5 地空一体	20
五、 总结与展望	21
缩略语列表	23
参考文献	24
参编单位及人员	25

一、发展背景概述

1.1 发展背景

通感一体技术借鉴雷达探测理论，实现了通信与感知功能的深度融合，依托先进的信号处理算法和通信技术，赋予了通信网络对环境和目标对象的全方位感知能力，能够输出距离、速度、位置、角度等关键信息。

近年来，随着我国低空经济政策的相继出台，通感一体技术迅速成为市场关注的焦点，产学研各界正积极推动标准化与产业化进程，力争早日实现通感网络商用落地。

政策方面，2021年，中共中央、国务院发布的《国家综合立体交通网规划纲要》首次将低空经济纳入国家规划。2024年1月，国务院、中央军委联合颁布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式施行，标志着我国无人机产业进入“有法可依”规范化发展新阶段。同年3月，低空经济被首次写入全国两会的政府工作报告，并作为新兴产业之一，纳入新质生产力的范畴。

需求方面，广东、浙江、安徽、湖北、云南等省份，纷纷展现出对通感一体技术的迫切需求，涉及无人机配送、巡检、海域监控、机场安全管理等多个领域。这些需求不仅对网络能力提出了新的要求，也为各行各业的数智化转型提供了技术动力。

标准化方面，国内 IMT-2020（5G）和 IMT-2030（6G）推进组积极布局，深入探索通感一体技术的应用场景和空口技术方案。2022至2023年间，连续发布了《5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告》、《通信感知一体化技术研究报告》、《通感融合系统设计研究报告》等相关文献。第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）国际组织正积极推动通感一体化技术的创新发展，目前正致力于 R19 版本中的感知信道模型和网络架构等前沿研究，标志着该技术研究正迈向深入探索和快速发展的新阶段。

产业方面，国内外多家主设备商布局通感一体化技术研究与产品研发，在中国移动提出的中低频通感一体技术路线的引领下，逐步开展了实验室测试与外场性能验证工作，初步满足低空经济、低空安防等典型场景的通信与感知需求。

1.2 技术能力

中国移动充分发挥高低频协同优势，在研究毫米波通感能力的同时，率先提出 4.9GHz 中低频通感一体技术路线，创新构建业内首个“新设备、新波形、新空口、新天线、新指标、新工参”通感技术体系，推动网络向能力多元融合方向演进。

作为移动通信网络演进过程中的全新范式，通感一体具备以下技术能力：

空口联合设计能力。通过共享频谱资源，同步优化空口设计与通信协议，实现了通信数据和感知信息的双向融通，通过调整信号调制方式、编码方式以及帧结构等关键系统参数，可实现通信与感知性能的动态联合调优。

软硬件设备共享能力。通信与感知共享天线、射频模块等设备硬件资源，有效提高了设备集成度和工作效率，并实现了通信与感知功能软件算法协同优化。

环境感知与孪生能力。利用无线信号传播特性，实时感知并反馈环境特征与物体信息，精准描述物体位置、速度等基本信息，生成连续运动轨迹，并对物体形态、姿态等更复杂信息进行精确感知，赋能网络数字孪生。

数据与服务开放能力。感知数据不仅可以直接在感知平台上呈现，还可根据客户需求，与其他系统集成，进行多源数据的融合处理，将感知结果以多样化的形式展现给不同客户，提供定制化的服务体验。

1.3 服务价值

通感一体技术极大地拓展了移动通信网络的服务边界，为用户提供了更加精准、智能、高效、广泛的感知服务。

助力低空产业发展。通感一体技术可对各型无人机、通航飞机、飞鸟、空飘物等目标进行三维空间定位与识别，应用于低空飞行航路监管、重要区域低空入侵检测，实现对低空感知目标的实时监控、跟踪、安全预警等功能，同时可提供低空通信能力，赋能低空经济，保障低空安全。

增强航道海面监管。航道蜿蜒绵长，海域面积辽阔，通感一体技术可对江河湖海等水域各型船只进行感知，提供实时的船只高精度定位、航迹追踪、船只身份识别等服务，助力航道规划优化，提升水域管理效率。

赋能地空一体管控。通感一体技术充分发挥其垂直感知与通信覆盖的优势，兼顾低空飞行器及空飘物的监测和地面车辆、行人的安全监管，大幅提升了立体空间内低、慢、小物体的管控能力。

支撑智慧城市建设。通感一体技术能够采集交通、建筑、气象等关键环境数据，掌握车辆行驶状态、预警道路突发情况，探测桥梁形状变化、提醒建筑结构异常，预报大风降雨、沙尘暴等极端天气，助力政府高效调度城市资源，减少事故发生概率，保障市民生活安全。

促进智能家居升级。在室内场景中，通感一体技术能够实现住宅入侵检测、人体姿态监测、行为异常告警等功能，为家庭提供全方位的安全保障，有效提升家庭人身及财产的安全水平。

1.4 发展规划

中国移动致力于推动通感一体技术的突破创新与应用，助力构建广域泛在智能感知与数字化经济社会。基于“一网多能、两业融合、多维兼顾”的设计原则，构建了数据层、网络层和应用层三层协同技术体系，攻关多项关键技术，布局多项商用能力。

中国移动正积极引领通感一体产业发展，2024年率先启动4.9GHz通感一体规模组网试点，将聚焦低空经济、低空安防、航道管理、海面监测、地空一体五大典型场景，携手行业龙头客户，深入挖掘业务需求，计划在不少于十个省份，部署数百站规模，充分验证产品与网络能力，打造核心技术能力，持续推动产品成熟。同时，将打造一系列重点行业的通感一体示范应用案例，探索落地商业模式，实现“点状突破”，力争在2024年底具备通感网络预商用能力。

2025年，中国移动将力争“串点成链”，实现通感一体技术的规模发展。此外，中国移动还将积极与产业伙伴合作，共同构建一个开放、协作、共赢的产业链生态系统，为通感一体技术的长远发展奠定坚实基础。

二、典型应用场景

2.1 低空经济

低空经济作为新质生产力的新兴赛道之一，发展空间巨大，加快低空通感基础设施建设，助力低空业务发展尤为重要。

低空经济主要指以低空空域(3000米以下区域)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。当前，低空经济重点聚焦300米以下非管制类空域业务场景，其中120-300

米空域场景以行业级无人机为主，主要应用于干线物流和城市管理等领域，120米以下空域场景以消费级无人机为主，主要满足航拍和外卖等消费需求。



2.2 低空安防

截至 2023 年底，我国已注册超过 126 万架无人机、较去年同比增长约 32%，飞行器数量的快速增长给定位导航、路线规划、应急避障等带来巨大挑战。

低空安防主要指利用通感一体基站的广域泛探能力，对特定空域内未获批的“黑飞”无人机、空飘物等进行感知，实现入侵物体的实时监测。为进一步扩大监测范围、满足用户全时全域低空安防需求，通过建立电子围栏，有效识别和反制“黑飞”，助力监管部门迅速解除安全威胁、实现空域的安全监管。



2.3 航道管理

船舶交通管理系统（Vessel Traffic Services, VTS）等水上交管系统通过船只上报信息、雷达与视频联动等方式获取船只位置，在航道管理中发挥了重要作用，但对于船只拒不上报、雷达近处感知盲区等场景，航道监管探测能力仍需进一步提升。

航道管理场景中，通感一体作为 VTS 等水上交管系统的融合补充手段，具备

基站感知无需船只上报、信号覆盖连续等优势，可进一步提升定位精准度、提升航道运行整体效率和安全性，实现船舶航行状态实时监控，预防船只碰撞等事故发生。



2.4 海面监测

随着智慧海洋发展建设，应用新技术维护海洋生态平衡、遏制非法捕捞及污染事件，加强海域安全监管、保障海面活动安全平稳运行尤为重要。

海面监测主要指利用通感一体基站的广域泛探能力，对超远距离船只识别、实现实时船舶航迹跟踪。另外，通过对关键海域设置电子围栏等方式，检测和警告非法入侵船只，可有效防止非法捕捞、破坏环境等非法活动，维护海域安全和海洋生态，有效提升海洋监管效率。



2.5 地空一体

面向地面与低空协同监管场景，传统雷达、视频监控等系统都存在垂直探测区域受限、低小慢物体监测难等痛点问题。

地空一体可同时兼顾地面与低空的覆盖，重点可满足机场航运等场景管理需求。对于地面场景，主要识别活动作业的车辆和行人，防止其误入飞机跑道；对

于低空场景，主要是在机场及周边禁飞区设置电子围栏，并对各型无人机、鸟类、气球等空飘物进行识别和非法入侵告警。通过地面、低空协同覆盖和感知，可以有效保障地面及低空安全，提升地空立体监管力度。



2.6 其它场景

除上述五大典型场景外，通感一体技术还可广泛应用于桥梁微型变监测等场景。未来随着技术进一步演进、成熟，还可应用于辅助驾驶检测、行人密集检测、降雨检测等室外场景，以及入侵检测、生命体征监测、人员跌倒检测等室内场景。

对于桥梁微型变监测场景，考虑桥梁在使用过程中会不可避免地受损，通感一体技术可实时监测跨江、跨海桥梁型变状态，提前发现潜在的风险和安全隐患，为城市安全提供新保障。

对于辅助驾驶检测场景，考虑辅助驾驶需要对道路车流和环境进行超低时延、超高精度的感知，通感一体技术支持实时路况感知，辅助驾驶员进行车辆操控，提升驾驶安全性。

对于行人密集检测场景，考虑铁路轨道、高速公路、十字路口等行人密集场景多为高危区域，通感一体技术可全天候开展行人密集检测，对人员危险行为进行告警、保障密集区域人员安全。

对于降雨检测场景，考虑降雨检测在水利工程、农业和天气预报等领域重要意义，通感一体技术发挥其信号受环境影响小及广域覆盖等优势，可实现降雨范围及降雨量的精准感知检测。

此外，利用室内基站或者 Wi-Fi 路由器，通感一体还可实现对个人生活的精细化感知，提供住宅安全监测、老人健康监测等服务，提升家庭生活质量。

三、网络与业务指标定义

3.1 通信指标定义

通信能力是通感一体的基础。通信网络关键指标包括覆盖、速率、时延及容量等。

通信指标	分类	关键指标	单位
	覆盖强度		RSRP
		SINR	dB
覆盖范围		单站距离、高度	m
速率		下行平均速率	Mbps
		上行平均速率	Mbps
		下行边缘速率	Mbps
		上行边缘速率	Mbps
时延		控制面时延	ms
		用户面时延	ms
容量		RRC 连接/激活用户数	个
		CAPS 用户数	个
		VoNR 用户数	个
		单 TTI 调度用户数	个

3.2 感知指标定义

感知能力是通感一体的核心。为全面客观评估通感网络性能，确保用户通信和感知综合体验，中国移动协同产业界，结合场景需求特征，提出通感一体感知指标定义。指标主要分为三大类：一是成熟指标，主要为雷达领域已定义完善、基本无歧义的指标；二是细化指标，指雷达领域已存在，但结合通感网络特征，进行细化的指标；三是创新指标，是面向通感一体网络性能首次提出的指标，有待后续与产业共同探索验证。

3.2.1 成熟指标

3.2.1.1 感知目标 RCS

感知目标雷达散射截面(Radar Cross Section, RCS)表征产生相同反射能

量强度的球体截面积，可以反映感知目标在电磁波照射下所产生的回波强度。考虑目标 RCS 会随目标运动姿态、信号入射角度变化，单一目标 RCS 不唯一，但 RCS 越大、基站接收到的反射回波能量越大，目标则更易被检测。

3.2.1.2 感知范围

感知范围包括感知高度与感知距离。感知高度表征在低空通感网络中，无人机在空中运行高度与覆盖区域平均海拔的差值。感知距离表征能满足感知需求的最远覆盖距离。

3.2.1.3 感知位置精度（水平/垂直）

感知位置精度表征感知位置结果与目标真实位置的差距。感知位置精度可分为水平与垂直精度，主要由距离精度与角度精度构成。感知位置精度受带宽、波长、天面孔径等参数影响。感知位置精度越高，代表系统感知结果更接近于目标真实位置，感知更准确。

3.2.1.4 感知分辨率

感知分辨率表征网络对多目标的最小分辨能力。分辨率越高，代表系统感知并区分不同物体的能力越强。感知分辨率可分为径向距离分辨率、速度分辨率、角度分辨率三种。

	技术指标	单位	主要影响因素
感知分辨率	径向距离分辨率	米	带宽
	角度分辨率	度	天面孔径、波长、天线法线夹角
	速度分辨率	米/秒	相参处理时间、脉冲累计数、波长

3.2.1.5 感知速度范围

感知速度范围表征网络对目标运动速度的探测能力，代表系统可感知运动速度的上下限范围。速度范围越大，代表系统对目标物体速度状态的评估能力越强。

3.2.1.6 置信度

置信度表征通感网络所有测试样本中能够达成目标精度需求的样本比例。该指标可准确评估通感网络结果的可信程度，置信度越高，系统感知性能越强，感知结果可靠性越强。

3.2.1.7 刷新率

刷新率表征通感网络呈现感知结果的时间间隔，是对系统感知结果稳定输出能力的重要评估标准。

3.2.2 细化指标

3.2.2.1 检测率（漏检率）

检测率（漏检率）定义为在一定时间内实际需求目标被成功检测（未能成功）的概率。检测率越高，系统在有目标场景下对目标感知成功率越高，目标物体更易被检测到。该指标与目标 RCS、感知位置精度等关键指标参数相关。统计方法为：

$$\text{检测率} = \frac{\text{检测成功点数}}{\text{目标点数}} \times 100\%$$

$$\text{漏检率} = 100\% - \text{检测率}$$

3.2.2.2 虚警率

虚警率定义为在一定时间内场景出现虚假感知结果的概率。虚警率越低，系统在无目标场景下错误上报感知结果的概率越低。该指标与目标 RCS、感知位置精度等关键指标参数相关。统计方法为：

$$\text{虚警点数} = \text{非需求目标点数} - \text{短航迹数}$$

$$\text{虚警率} = \frac{\text{虚警点数}}{\text{目标点数} + \text{虚警点数}} \times 100\%$$

其中，非需求目标点数是指目标场景下出现的飞鸟、非需求方目标感知点数，

短航迹数是指时间或航迹过短的航迹采样点数。

3.2.3 创新指标

3.2.3.1 轨迹完整度

轨迹完整度是评估感知结果是否满足精度与连续性要求的重要评估手段，一方面可从预设轨迹与真实感知轨迹的吻合程度来评估，另一方面可从感知结果是否符合精度要求来评估。

3.2.3.2 感知信噪比

感知信噪比（Signal-Clutter-Ratio, SCR）定义为基站收到的检测信号与环境杂波能量的比值，是为通感网络规模组网定制的组网规划指标。感知信噪比可影响通感网络中感知位置精度、感知分辨率、检测率（漏检率）、虚警率等多项关键性能指标。统计方法为：

$$SCR = \frac{S_{\text{目标}}}{I_{\text{感知}} + N_{\text{杂波}} + I_{\text{通信}} + N_{\text{底噪}}}$$

其中， $S_{\text{目标}}$ 表示基站获取的回波信号能量， $I_{\text{感知}}$ 表示网络感知对感知的干扰信号能量， $N_{\text{杂波}}$ 表示由天气杂波、感知过程中其他目标等造成的噪声能量， $I_{\text{通信}}$ 表示网络通信对感知的干扰信号能量， $N_{\text{底噪}}$ 表示场景底噪。

感知信噪比的引入将为通感一体组网规划带来决定性评判因素，可在场景化关键感知需求与建网指标之间架设映射桥梁。未来可通过感知信噪比指导并输出站址规模，构建场景化端到端的通感一体组网建设方案。

3.2.3.3 系统感知时延

系统感知时延为评估通感网络对目标感知结果输出的灵敏性能力而引入，系统感知时延数值越低，证明通感网络对目标的感知反馈能力更快。统计方法为：

$$\text{系统感知时延} = \text{稳定航迹起始点时间} - \text{进入感知范围时间}$$

其中，稳定航迹起始点时间是系统可稳定呈现，满足感知需求航迹的时间点。

3.2.3.4 空间覆盖率

空间覆盖率是用于评估三维立体空间内通信与感知覆盖能力的指标。该指标可通过统计手段精准刻画通信与感知覆盖性能指标，影响如站间距、站址结构、波束设计等多种关键参数，为后续建网标准提供参考。

四、典型场景技术解决方案

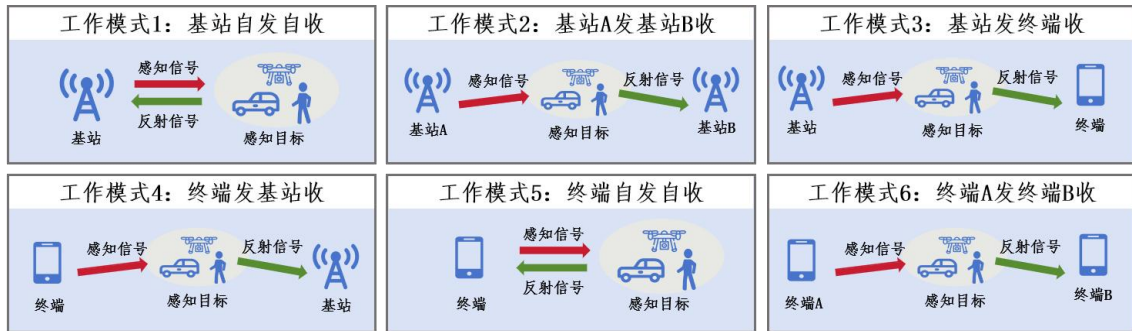
4.1 产品技术方案

4.1.1 收发模式

3GPP 标准定义六种收发模式，当前主要采用基站自发自收和基站 A 发 B 收两种工作模式。

基站自发自收是一种单站感知方式，由单个节点完成感知任务，无收发同步问题，组网简单。这种模式要求基站同频收发，具备全双工能力。

基站 A 发 B 收是一种双站感知方式，由于发射机和接收机在空间上分离，不要求基站具有全双工能力。但是面临收发同步存在误差、感知结果受收发机位置误差影响以及组网配对关系较为复杂等问题。



4.1.2 网络架构

为实现感知能力，通感一体网络在传统通信网络架构基础上新增两个网元，即感知功能（Sensing Function, SF）网元，应用功能（Application Function, AF）网元。SF 负责感知功能控制管理、感知数据汇聚和上报；AF 提供应用服务和平台管理。

根据 SF 与通信网络架构中现有网元的接口关系，网络架构分为本地化架构

和紧耦合架构。

（1）本地化架构：SF 与基站连接，二者在控制面和数据面均具备直联接口。本地化架构可尽量减少现网改造，具备灵活、快速部署优势。本地化架构扁平简单，适用于局域或专网场景。

（2）紧耦合架构：SF 与现有 5GC 架构深度融合，复用现有核心网架构、接口和协议来实现感知能力。紧耦合架构适用于广域场景、终端感知场景。

4.1.3 空口设计

为满足远距离感知覆盖需求，同时尽量降低通信与感知间的相互影响，需设计全新空口方案，实现超远覆盖、通感融合共生。

在基站自发自收的工作模式下，5G 系统采用的正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）信号是连续波，若用作感知不存在近端盲区，但为保证收发隔离度，发射功率较低、覆盖距离有限。雷达系统常用的线性调频信号（Linear Frequency Modulation, LFM）是脉冲波，感知覆盖范围可达千米，但存在近端盲区。通过采用连续波 OFDM 和脉冲波 LFM 相结合的混合波形，融合通信和雷达两种波形技术优势，连续波覆盖近端、脉冲波覆盖远端，实现远距离连续覆盖。

基于低干扰、低开销、高谱效、低影响设计思路，首创提出边界可扩展的通感深度融合混合波形帧结构。以 N79 频段典型 2.5ms 双周期 DDDSUDDSUU 帧结构为例，将感知信号承载于上行时隙后的下行时隙，确保规避远端干扰；感知时隙后 7 个符号可灵活用于通信或感知，提升场景化通感网络能力，达成总开销为 10%与满足感知精度要求的平衡。

4.1.4 设备形态

为满足低空业务需求，网络覆盖从地面扩展至低空，感知能力需达到至少 30 米精度要求。覆盖高度对有源天线单元（Active Antenna Unit, AAU）张角范围提出新要求、感知精度对设备通道数提出新要求。

为实现感知覆盖距离不低于 1 公里，覆盖高度不低于 300 米，需扩展垂直面覆盖能力，采用 60° 大张角天面，同时满足地面与低空覆盖需求。

通道数和阵子数越多，水平角度精度与分辨率表现更优。为满足感知精度要求，天线阵子数量要求水平方向不低于 16 列，垂直方向至少需要 2V。综合考虑性能和成本，中国移动创新提出 64TR+64R 收发非对称垂直大张角 4.9GHz 通感一体基站设备。

4.1.5 高精工参

感知误差是通过精确计算基站的绝对位置以及探测目标与基站之间的相对位置来确定的。传统模式下工参精度低、基站绝对位置偏差大，其方位角和俯仰角误差可能分别高达 $\pm 5^\circ$ 和 $\pm 1^\circ$ ，经度、纬度和高度误差有时高达十余米，将极大程度影响对目标位置的精准判断。

通过在基站内引入高精工参模块，获取准确基站工参，实现感知目标位置的精准判断。高精工参模块自身采用多模多频多通道定位模块，且可与基准站进行位置校准，预计方位角与俯仰角的精度将提升至 $\pm 0.5^\circ$ ，经度、纬度和高度误差将控制在 ± 10 厘米以内，可显著增强通感基站的感知能力，为未来各类通感一体化应用提供更为精确、可靠的数据支持。

4.1.6 感知平台

感知平台作为 AF 网元功能的可视化呈现，是承担通感一体数据汇集与监管决策的重要角色。一方面，平台可将三维立体感知结果向用户直观展现。同时，用户可在平台上直接操作，查看感知信息或设置电子围栏等。另一方面，通过多摄像头监控阵列与光学感知 AI 模型，平台可以对感知目标开展精准跟踪视频展示，为用户提供全面、直观、实时的监控信息可视化服务。

鉴于部分用户已具备自有平台，感知平台需具备与其他系统，如 VTS、公安管控系统以及雷达、光电、频谱探测等传统探测系统兼容协同能力，将多源异构数据进行汇聚、清洗、封装，并与地图、环境等基础数据融合，实现目标发现、轨迹管理、探测统计、地图管理、异常告警、数据存储与回放等功能，结合业务需求，向用户开放共享通感能力，完成用户业务应用闭环。

4.2 规划组网方案

4.2.1 规划方法

相比地面通信，通感一体组网引入了更多考虑因素，如需满足复杂的感知业务指标、需确定感知网络规划指标、需明确感知信道模型参数取值等。

针对通感一体组网规划，有必要构建一套全新方法，建立各项感知业务指标与感知 SCR 之间映射关系，明确通信网络指标与感知网络指标之间逻辑关系，并基于场景特征与设备配置制定组网方案等。目前各指标之间映射关系、感知链路

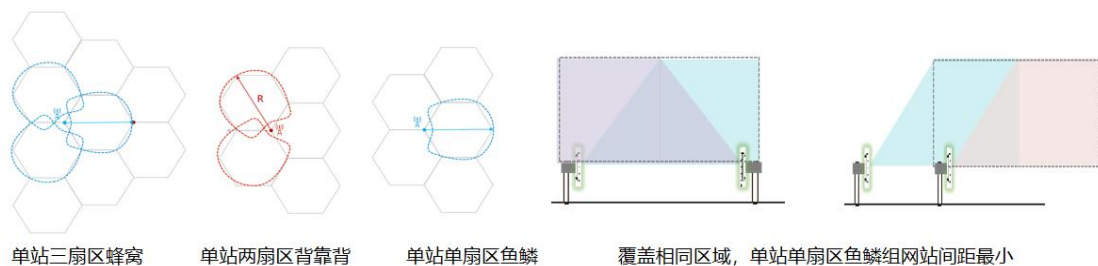
预算模型等仍在理论分析阶段，后续将通过大量外场测试校正相关参数。

4.2.2 站址结构

相比地面通信，通感一体组网与业务关联度更高、耦合度更强，站址结构的场景化特征更为突出，因此实际通感组网应结合通感场景特征选择最佳站址结构，在满足业务需求的前提下保障网络资源精准合理投放。

当前主要有单站三扇区蜂窝、单站两扇区背靠背、单站单扇区鱼鳞三种站址结构。单站三扇区蜂窝与地面类似，通过设计三扇区的不同覆盖角度对站点周边区域进行成片覆盖。单站两扇区背靠背通过两扇区分别指向不同方向，对定向区域进行连续覆盖。单站单扇区鱼鳞通过单扇区追打方式形成“鱼鳞”状拓扑结构。

三种站址结构各有优劣，三扇区蜂窝结构具有覆盖范围大、融合性能好等优点，但也会因模块数较多导致投资增加。相较于三扇区，两扇区和单扇区虽可显著减少模块数，但因覆盖范围受限导致站间距减小，进而需要更多站址数量。



4.2.3 干扰控制

相比地面通信，通感基站规模组网下将引入额外的感知干扰。通感网络干扰类型主要包括感知间干扰、感知与通信间干扰、通信间干扰。为保障客户通信、感知需求，需要针对性制定相关干扰控制方案。

一是感知间干扰。在自发自收模式下，连续波有自干扰、同站扇区间干扰、站间扇区间干扰，脉冲波有脉冲内与脉冲间干扰。当前主要通过增强设备隔离度、干扰消除算法，并结合扇区间梳分、时分、频分等方式解决。对于环境杂波干扰，应持续研究相关干扰抑制技术。

二是感知与通信间干扰。4.9GHz 通感站与同频通信站之间存在严重同频时隙干扰，在 D0/D5 时隙上，下行通信信号将影响感知信号接收。当前主要通过通信站时隙打孔技术解决，并研究“精准”站点打孔技术，降低通信站资源开销。

三是通信间干扰。通感站小区间干扰由于视距传输更加显著，可采用同步信

号（Synchronization Signal Block, SSB）时分错开、感知辅助 SSB 开关等方法进行抑制。另外，低空无人机飞行时可能干扰地面小区，需针对性控制无人机发射功率，降低干扰影响。

4.2.4 移动性管理

在通感一体场景下，网络覆盖从传统的二维网络扩展至三维立体网络，同时用户类型也从地面用户拓展至低空无人机用户，需针对性研究移动性管理策略，避免无人机乒乓切换、降速掉话等问题。当前主要考虑四类方法，对用户进行差异化业务保障。

一是利用无线/频率选择优先级(RAT/Frequency Selection Priority, RFSP)或 5G 业务质量标识(5G QoS Identifier, 5QI)标识，精准识别无人机用户，为制定低空差异化移动性管理策略提供基础；二是基于 RSRP 与触发时间(Time To Trigger, TTT)两项参数，配置低空场景移动性门限；三是引入基于 RFSP 或 5QI 参数，在起飞阶段优先针对 4.9GHz 低空小区发起测量与切换，制定低空小区快速切入策略；四是分别针对上行、下行判决逻辑，引入 SINR 与 RSRP 进行联合判决，设定低空小区精准切换指标。

4.3 场景解决方案

4.3.1 低空经济

4.3.1.1 典型业务需求

低空经济场景业务主要集中在无人机上行图片及视频回传、飞行态势监测、航路入侵检测、失控异常告警等方面。

(1) 通信关键指标要求

为保障 1080P、4K 超清等上行视频回传需求，上行边缘速率要求达到 5-25Mbps。

指标	要求
通信覆盖高度	300m
上行边缘速率	5-25Mbps

(2) 感知关键指标要求

无人机 RCS 较小，为精准实现飞行态势监测等功能，感知位置精度较高约 10m。

指标	要求
感知目标 RCS	0.01-2 m ²
感知高度	300m
感知位置精度（水平/垂直）	10m
感知距离分辨率	10m
感知速度	5~100km/h
感知速度分辨率	5m/s
检测率	95%
虚警率	5%
置信度	95%
刷新率	1s

4.3.1.2 网络解决方案

（1）收发模式

基站自发自收和基站 A 发 B 收两种工作模式，均可满足低空经济场景需求。

（2）网络架构

初期无人机主要在局域固定点位之间飞行，航线相对简单，可采用本地化架构，满足用户快速应用需求。随着产业持续发展，为满足广域低空覆盖需求，届时可采用紧耦合架构，提供广域低空通感服务。

（3）帧结构配置

在 4 个脉冲波与 3 个连续波（4P3C，其中 P 代表脉冲波 Pulse，C 代表连续波 Continuous wave）感知符号配置下，单站覆盖距离可达约 1.3 公里。

（4）站址结构

建议结合具体场景应用，可采用单站三扇区蜂窝结构，通过合理设置站间距，部署适量基站，发挥覆盖范围大的优势，实现连片覆盖；采用单站单扇区鱼鳞结构，对于航路区域进行精准覆盖。

4.3.2 低空安防

4.3.2.1 典型业务需求

低空安防场景业务主要集中在无人机视频巡检（上行图片及视频回传，兼顾下行控制链路数据传输）、电子围栏、轨迹跟踪等方面。

（1）通信业务指标要求

为保障 1080P、4K 超清等上行视频回传需求，上行边缘速率要求达到 5-25Mbps。

指标	要求
通信覆盖高度	300m
上行边缘速率	5-25Mbps

(2) 感知业务指标要求

无人机 RCS 较小，为实现电子围栏等功能，感知位置精度须达到 20m。

指标	要求
感知目标 RCS	0.01-2 m ²
感知高度	300m
感知位置精度（水平/垂直）	20m
感知距离分辨率	10m
感知速度	5~100km/h
感知速度分辨率	5m/s
检测率	95%
虚警率	5%
置信度	95%
刷新率	1s

4.3.2.2 网络解决方案

(1) 收发模式

基站自发自收和基站 A 发 B 收两种工作模式，均可满足低空安防场景需求。

(2) 网络架构

低空安防场景区域性覆盖特征明显，通过本地化网络架构可快速高效实现网络部署。若未来出现广域低空安防覆盖需求，则可进一步采用紧耦合网络架构提供通感服务。

(3) 帧结构配置

低空安防场景感知符号配置与低空经济场景相同，为 4P3C。

(4) 站址结构

建议采用单站三扇区蜂窝结构，结合具体部署环境，合理设置组网站间距，对安防区域进行覆盖。

4.3.3 航道管理

4.3.3.1 典型业务需求

航道管理场景业务主要是对船只进行实时监测、精准识别、轨迹跟踪，以及获取船舶交通量、违章停靠等方面，同时兼顾通信覆盖需求。

（1）通信业务指标要求

为满足江河湖面上普通终端用户正常上网需求，上行边缘速率要求为 1Mbps。由于 5G 是上行受限场景，下行速率不做特殊要求。

指标	要求
上行边缘速率	1Mbps

（2）感知业务指标要求

船只 RCS 最小约为 4 m²，为实现实时监测等功能，感知位置精度须达到 30m。

指标	要求
感知目标 RCS	4-10 m ²
感知位置精度（水平/垂直）	30m
感知距离分辨率	25m
检测率	90%
虚警率	10%
置信度	95%
刷新率	1.5s

4.3.3.2 网络解决方案

（1）收发模式

当前基站自发自收工作模式，可满足航道管理场景需求。

（2）网络架构

由于航道长度较长，可能跨越多个地市、省份，因此在初期局部试验网建设阶段，尚可使用本地化网络架构，后期需采用紧耦合架构，提供全航段通感网络服务。

（3）帧结构配置

为提升感知距离，采用 4 个短脉冲波和 1 个长连续波（4P1C）的感知符号配置，单站覆盖距离可达约 3 公里。

（4）站址结构

航道场景具有蜿蜒带状覆盖特征，在沿航道进行规模组网时，建议采用单站

两扇区背靠背结构，沿航道两岸进行之字形组网，合理设置站间距，完成航道航段覆盖。



4.3.4 海面监测

4.3.4.1 典型业务需求

海面监测场景业务主要集中在船只巡检（上行图片及视频回传）、船只监测、航迹跟踪、海面电子围栏等方面，重点对网络覆盖距离提出更远的要求。

(1) 通信关键指标要求

由于海面覆盖距离较远，无法满足船只巡检 1080P 视频回传要求，采用 720P 视频回传，上行边缘速率要求为 3Mbps。

指标	要求
上行边缘速率	3Mbps

(2) 感知关键指标要求

海域船只体积较大，RCS 一般为 4-40 m²，感知位置精度需达到 30m。

指标	要求
感知目标 RCS	4-40 m ²
感知位置精度（水平/垂直）	30m
感知距离分辨率	近岸 25m，近海 75m
检测率	90%
虚警率	10%
置信度	95%
刷新率	1.5s

4.3.4.2 网络解决方案

(1) 收发模式

当前基站自发自收工作模式，可满足海面监测场景需求。

(2) 网络架构

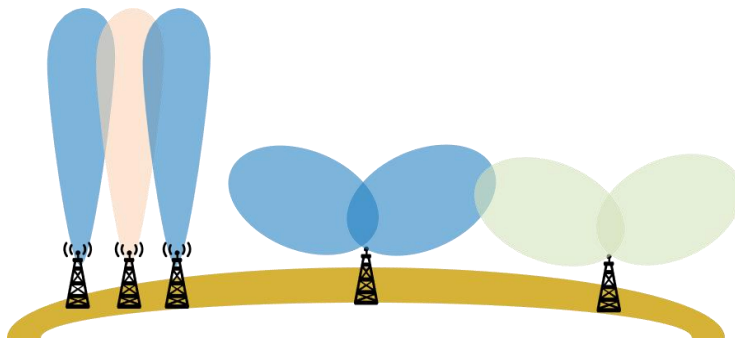
初期试验网建设阶段，可使用本地化架构部署网络，以快速满足用户应用需求。后期由于海岸线绵长，可采用紧耦合架构，提供广域海域通感服务。

(3) 帧结构配置

为进一步提升感知距离，在 1 个长脉冲波与 1 个长连续波（1P1C）的感知符号配置下，单站覆盖距离最远可达约 20 公里。

(4) 站址结构

基于三段式海面经典传播模型，沿海岸线进行海域覆盖时，可根据具体部署环境特征，采用单站单扇区鱼鳞或单站双扇区背靠背结构，合理设置站间距，尽量平衡海域覆盖距离与连续性。



4.3.5 地空一体

4.3.5.1 典型业务需求

地空一体场景业务主要集中在对低空进行无人机、飞鸟等空飘物监测，对地面车辆、人员识别探测等方面。

(1) 通信业务指标要求

为满足地面终端用户正常上网业务，上行边缘速率要求为 1Mbps。由于 5G 网络为上行受限，下行无特殊要求。

指标	要求
上行边缘速率	1Mbps

(2) 感知业务指标要求

低空、地面感知目标不同，感知业务指标不同。

指标	地面要求	低空要求
目标分类	人、车、在地面滑行的飞行器	无人机、不明空飘物
感知目标 RCS	1~20m ²	0.01-2m ²
检测率	90%	90%
虚警率	10%	10%
感知位置精度 (水平/垂直)	20m	30m/10m
感知速度	5~100km/h	5~100km/h
速度分辨率	5m/s	5m/s
距离分辨率	10m	10m
刷新率	1.5s	1.5s

4.3.5.2 网络解决方案

(1) 收发模式

当前基站自发自收工作模式，可满足地空一体场景需求。

(2) 网络架构

地空一体场景当前区域化特征明显，可采用本地化网络架构，实现快速部署。若存在广域低空一体需求，也可采用紧耦合架构。

(3) 帧结构配置

在 4P3C 感知符号配置下，单站覆盖距离可达约 1 公里。

(4) 站址结构

建议优先采用单站三扇区蜂窝结构，考虑地面建筑环境，设置合理站间距，实现区域连片覆盖。

五、总结与展望

5G-A 通感一体技术，作为 5G 网络演进的重要方向，正以其融合通信与感知的创新功能，实现频谱资源的高效利用，并显著提升实时感知能力，逐步成为引领行业变革的关键力量。立足当前面临的立体组网覆盖技术体系不完善、端到端产业链不成熟、商业模式不闭环等主要挑战，2024 年，中国移动将携手产业，聚焦五大场景开展通感一体规模组网试点，攻关八大核心技术，推动产业产品成熟，形成可商用的场景化通感网络规划建设方案、可推广的行业端到端解决方案，

力争在年底前具备通感网络预商用能力。

未来，中国移动将持续推动通感一体应用场景和技术体系的演进升级。应用场景方面，通过拓展支持室内外、空天地海等全域价值新应用，全面赋能千行百业，满足市场的多样化发展需求。技术体系方面，围绕“新技术、新设备、新网络、新平台”四大方向开展创新研究，提高空口融合深度和杂波抑制能力，优化设备性能和功耗成本，提升多站协同和网业协同水平，构建灵活对接和安全可信平台。

通感一体技术将带动整个产业链的蓬勃发展，充分发挥行业聚力，深度赋能千行百业，逐步实现全场景泛在超能智联感知。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信技术
5G-A	5th Generation Advanced Mobile Communication Technology	第五代增强移动通信技术
5QI	5G QoS Identifier	5G 业务质量标识
6G	6th Generation Mobile Communication Technology	第六代移动通信技术
AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
AF	Application Function	应用功能
CAPS	Call Attempts Per Second	每秒建立呼叫数量
ISAC	Integrated Sensing and Communication	通信感知一体化
LFM	Linear Frequency Modulation	线性调频信号
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
RCS	Radar Cross Section	雷达散射截面积
RFSP	RAT/Frequency Selection Priority	无线/频率选择优先级
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RSRP	Reference Signal Receiving Power	参考信号接收功率
SCR	Signal-Clutter-Ratio	感知信噪比
SF	Sensing Function	感知功能
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	信号与干扰加噪声比
SSB	Synchronization Signal Block	同步信号
TTI	Transmission Time Interval	传输时隙
TTT	Time To Trigger	触发时间
VoNR	Voice over New Radio	新空口承载语音
VTS	Vessel Traffic Services	船舶交通管理系统

参考文献

- [1] 5G-Advanced 通感融合场景需求研究报告. IMT-2020 (5G) 推进组, 2022.
- [2] 通信感知一体化技术研究报告. IMT-2030 (6G) 推进组, 2022.
- [3] 通感融合系统设计研究报告, IMT-2030 (6G) 推进组, 2023.
- [4] Service requirements for Integrated Sensing and Communication, 3GPP TS 22.137
- [5] Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication, 3GPP TR 22.837

参编单位及人员

(排名不分先后)

中国移动计划建设部：张鹏、黄庆

中国移动设计院：孙卫东、崔海东、汤利民、程日涛、徐德平、高松涛、张琪璇、
潘都、于一鸣、曹阳阳、董君宇、王彬、斯琴、果鸿希、张子阳

中国移动研究院：黄宇红、丁海煜、邓伟、曹蕾、陈蔚燕、旷婧华、曹丽芳、
张永丽、许康、张鹏飞

中国移动（成都）产业研究院：苏郁、周剑、邱裕鹤、牛锐