

低空智联网场景和关键技术

SCENARIOS AND KEY TECHNOLOGIES
FOR LOW ALTITUDE INTELLIGENT NETWORK

—— 星地融合助力数字低空发展 ——



低空智联网场景和关键技术白皮书

—— 星地融合助力数字低空发展 ——

本白皮书版权专属中信科移动通信技术股份有限公司(以下简称“中信科移动”)所有, 并受法律保护。如需基于非商业目的引用、转载、传播或以其他方式合理使用本白皮书的全部或部分内容, 应完整注明来源。违反前述声明者, 中信科移动将追究其法律和商业道德之责任。

引言

低空经济作为一种新兴经济形态，自 2010 年提出，逐步成为加快建设现代化经济体系、增强我国国际竞争力的关键引擎，为全面建成社会主义现代化强国、实现中国式现代化提供重要力量。2023 年中央经济工作会议及 2025 年政府工作报告中均明确强调了对低空经济发展的重视和支持。据不完全统计，全国已出台了超过 140 项地方政策支持低空经济发展。

当前低空经济呈现出活动范围扩大、运行密度增加、任务范畴拓展等趋势，传统通航管理及运营模式难以适应其快速发展需求，未经审批的黑飞、违飞行为频发，增加了空中交通安全风险，阻碍了低空资源的有效利用。因此，亟需依托低空物联网实现全域感知、动态调度、智能决策和闭环管理，全面提升低空运行的安全性、效率与服务质量。

低空物联网以 5G 增强 (Fifth Generation Mobile Communication System – Advanced, 5G-A) 和卫星互联网为基础，通过融合飞行器对万物 (Aircraft to Everything, A2X) 通信以及自组织网络，构建空天地多层次协同覆盖的端到端信息化系统，服务低空应用的网络、终端和平台。本白皮书对低空物联网进行深入剖析，基于应用场景和需求的分析，探索以 5G-A 网络和卫星互联网为基础、低空飞行器间通信和自组织网络为补充的立体协同覆盖网络架构，研讨以高效空口传输、通信覆盖增强、卫星接入、飞行器间直接通信为代表的无线传输技术，研讨以空地融合组网、身份接入认证、移动性管理、高效灵活的无线自组织、低空网络节能、频谱分配与干扰管理为代表的组网与网络技术，研讨以通信与导航融合、通信与感知融合、通信与智能融合、通信与算力融合、空域安全管控为代表的跨域融合技术，形成空天地多层次的通导感智算网络，解决低空飞行中的通信、导航、感知、管控以及数据处理等问题，护航低空经济安全发展。

目 录

引 言.....	1
一、 低空智联发展现状.....	1
1.1 从低空经济到低空智联.....	1
1.2 国内外研究进展.....	1
二、 低空智联的应用场景和技术需求.....	3
2.1 低空智能交通.....	3
2.2 低空农林植保.....	5
2.3 低空物流运输.....	6
2.4 低空监管与安防.....	8
2.5 低空应急救援.....	10
三、 低空智联的总体架构与挑战.....	12
3.1 低空智联的行业痛点.....	12
3.2 异构融合的低空智联.....	13
3.3 低空智联面临的挑战.....	15
四、 低空智联的关键技术.....	15
4.1 高效空口传输技术.....	16
4.2 通信覆盖增强技术.....	18
4.3 卫星接入技术.....	20
4.4 飞行器间直接通信技术.....	21
4.5 空地融合组网技术.....	23

4.6 身份接入认证技术	26
4.7 移动性管理技术	27
4.8 高效灵活的无线自组织技术	30
4.9 低空网络节能技术	32
4.10 频谱分配与干扰管理技术	34
4.11 通信与导航融合技术	36
4.12 通信与感知融合技术	38
4.13 通信与智能融合技术	40
4.14 通信与算力融合技术	41
4.15 空域安全管控技术	43
五、 未来展望	45
缩略语	47
参考文献	50

一、低空智联网络发展现状

1.1 从低空经济到低空智联网

低空经济以距地面高度 1000 米以内的低空空域为主要活动空间,必要时可扩展至 3000 米。该经济形态以低空飞行活动为牵引,以有人驾驶与无人驾驶航空器为主要载体,以通用航空产业为主导,覆盖低空飞行、科研教育、航空旅游等众多行业,具有产业链条长、辐射面广、成长性和带动性强等特点。

低空智联网是低空经济规模化发展的基础底座,指服务于低空应用的网络、终端、平台、安全等端到端信息化系统,负责低空数据传输和处理、低空飞行器感知和定位、路径规划计算等功能,是空中交通、低空物流、城市治理等应用的基础载体。低空智联网依托 5G-A 和卫星互联网,融合 A2X 通信与自组织网络,在现有的空、天、地等各类信息通信设施和机场停机坪等物理设施之上,向航空器和各应用系统提供通信、导航、监视、信息保障等多种能力,将传统民航体系的通信、传感、控制等基础设施与新兴运营商体系的通导感一体、空天地一体的信息基础设施相融合,形成多系统的联合立体网络^[1]。

随着低空经济的快速发展和低空空域的逐步开放,低空智联网作为关键的信息化基础设施,连接低空经济中的各类飞行器、平台和应用系统。一方面,低空智联网是空域开放的数字化支撑,承载空域的管理数据流和监测数据流,确保空域开放后能够有效地实现监管和运营;另一方面,低空智联网是低空经济应用规模化的数字化保障,承载低空航空器的控制数据流和业务数据流,确保低空航空器能够有效地实现载人载物飞行活动^[2]。

1.2 国内外研究进展

全球的主要标准组织或协会,如第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project,3GPP)、电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers,IEEE)等,均在积极开展低空经济相关的技术研究和标准制定。我国以未来移动通信(FuTURE)论坛为代表开启了数字低空的系列研究,以中国通信标准化协会(China Communications Standards Association,CCSA)为代表开启了低空智联网的研究和标准制定。

3GPP Release 17 至 Release 19 版本逐步加强了对无人驾驶航空系统(Unmanned