

电子信息发展视角下低空通感一体网络布局研究

石启国 李志华

广东省电信规划设计院有限公司

DOI:10.32629/acair.v4i1.19359

[摘要] 本文从电子信息发展视角出发,探讨低空通感一体网络布局。阐述低空通感一体网络的概念、内涵及重要性,分析电子信息发展对其的推动作用。研究网络布局的关键技术,包括通感融合波形、信号覆盖增强、感知精度提升等。探讨网络布局面临的挑战,如低空环境复杂性、飞行器多样性等,并提出应对策略。展望低空通感一体网络布局的发展趋势,为相关领域的研究和实践提供参考。

[关键词] 电子信息; 低空通感一体网络; 网络布局; 关键技术; 发展趋势

中图分类号: G250.72 **文献标识码:** A

Research on Low-altitude Integrated Perception Network Layout from the Perspective of Electronic Information Development

Qiguo Shi Zhihua Li

Guangdong Telecom Planning and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] This paper, from the perspective of electronic information development, explores the layout of low-altitude integrated perception networks. It elaborates on the concept, connotation and importance of low-altitude integrated perception networks, and analyzes the promoting effect of electronic information development on them. The key technologies of network layout are studied, including perception fusion waveforms, signal coverage enhancement, and perception accuracy improvement. The challenges faced by network layout, such as the complexity of low-altitude environment and the diversity of aircraft, are discussed, and corresponding strategies are proposed. The development trend of low-altitude integrated perception network layout is prospected, providing references for research and practice in related fields.

[Key words] Electronic information; Low-altitude Integrated Perception Network; Network Layout; Key Technologies; Development Trend

引言

随着电子信息技术的高速发展,低空经济作为新兴产业正蓬勃兴起。低空通感一体网络作为支撑低空经济安全、高效运行的关键基础设施,融合了通信与感知功能,能够实现信息的实时传输、处理和辅助决策。其网络布局的合理性直接关系到低空经济各应用场景的顺利开展,如无人机物流、应急救援、农林植保等。因此,从电子信息发展视角深入研究低空通感一体网络布局具有重要的现实意义。

1 低空通感一体网络的概念与内涵

1.1 概念界定

低空通感一体网络是一种将通信与感知功能深度融合的新型网络架构,通过整合通信基站、卫星通信与定位以及无人机飞行器核心基础设施,构建高效协同的网络系统。它不仅能够提供持续无缝的通信服务,还能实现高精度的感知功能,确保感知信号、通信信号以及定位信号能够实时与后台系统进行交互,

从而实现高效的资源调度。

1.2 内涵解析

低空通感一体网络的内涵丰富,涵盖了通信、感知和算力三个领域,并使其紧密结合。动态数据通过高效的通信网络实时传输,感知设备对数据进行实时处理,智能计算系统则进行数据分析和决策。这种一体化模式不仅提高了信息的传输效率和处理能力,还提升了系统的智能化水平,为低空经济的安全、高效运行提供了有力保障。

1.3 重要性阐述

低空通感一体网络对于低空经济的发展至关重要。在低空安全领域,它能够实现对无人机等低空飞行器的精确感知和跟踪,有效防范无人机入侵等安全风险,提高低空飞行的安全性。在物流配送领域,它可以实现对无人机的精确控制和调度,提高物流效率,同时通过感知网络对无人机飞行状态的实时监测,及时发现并处理潜在的安全隐患。此外,在应急救援、农林

植保、遥感测绘等领域,低空通感一体网络也发挥着重要作用,为这些领域的发展提供了强大的技术支持。

2 电子信息发展对低空通感一体网络布局的推动作用

2.1 通信技术进步促进网络覆盖拓展

电子信息领域通信技术的不断进步,为低空通感一体网络的覆盖拓展提供了有力支撑。5G-A和6G技术的部署,使得网络具备了更高的速率、更低的延迟和更大的容量。基于5G-A公网和未来6G网络,通过优化现有公网或者建设低空专网,可以为低空智联终端提供通信或者感知服务。例如,5G-A通感一体方案可在不改变原有5G基站天线仰角的前提下,通过多基站、多AAU组网部署,实现低空近600米的网络覆盖和亚米级感知,为低空飞行器提供连续的监测服务。

2.2 感知技术创新提升感知能力

感知技术的创新是低空通感一体网络布局的关键。随着电子信息技术的发展,各种新型感知技术不断涌现,如大规模天线阵列、高分辨率感知接收算法等。大规模天线阵列可以形成高增益窄波束,提升信噪比和抑制干扰,从而提高感知的精度和范围。高分辨率感知接收算法,如Capon、MUSIC、ESPRIT及其二维扩展,通过复杂的矩阵运算和子空间分析来突破传统分辨率极限,实现对目标的高精度到达角和距离估计。

2.3 算力提升增强数据处理能力

电子信息领域算力的不断提升,为低空通感一体网络的数据处理提供了强大的支持。边缘计算网络的发展,使得数据可以在靠近数据源的地方进行处理,减少了数据传输的延迟和带宽占用。智能计算系统可以对感知设备采集到的大量数据进行实时分析和决策,提取有价值的信息,为低空经济的各应用场景提供精准的决策依据。例如,在应急救援领域,通过对灾害现场的实时监测数据进行快速分析,可以及时制定救援方案,提高救援效率。

3 低空通感一体网络布局的关键技术

3.1 通感融合波形技术

通感融合波形技术是低空通感一体网络的核心技术之一。在发展初期,通信与感知波形相对独立,通过时分、频分或者空分等方式实现通信和感知功能。未来,将逐步向一体化空口演进,通信与感知将使用一体化波形,实现深度融合。一体化波形设计可以有效提升频谱效率,最大化资源利用率,增强感知与通信的整体性能。例如,组合通信与雷达波形是一种常见的思路,通过合理设计波形参数,使其既能满足通信的信息传输需求,又能实现目标的感知和探测。

3.2 信号覆盖增强技术

低空环境的广阔和三维特性对信号覆盖提出了严峻挑战。为了拓展覆盖范围,可以采用双脉冲波形设计,采用长脉冲保障远距离探测,同时用周期更短的短脉冲覆盖近距离盲区,实现无缝覆盖。在实现连续覆盖方面,波束管理是关键。利用大规模天线阵列形成高增益窄波束,同时需要智能的波束扫描、测量和选择

机制,管理好通信波束和感知波束。此外,当目标移动或信道变化导致感知性能下降时,需要进行感知节点切换,切换决策需考虑节点能力、分布、环境以及目标状态等因素。

3.3 感知精度提升技术

精度是低空安全和效率的关键,低空通感一体系统需要在功率、部署等受限条件下提升感知精度。波形设计是提升感知精度的基础,AI赋能的波形和波束联合设计被认为是提升性能的关键方向。感知接收算法方面,高精度的到达角和距离估计算法可以突破传统分辨率极限。融合感知也是提升精度的重要手段,包括多节点数据融合和多模态数据融合。多节点数据融合可以整合来自不同节点的测量信息,平抑单节点观测的随机性;多模态数据融合可以结合雷达/通信信号与其他传感器(视觉、红外等)的数据,实现更全面的环境感知。

3.4 感知可靠性提升技术

在复杂的真实环境中,保证感知的可靠性至关重要。对于非视距(NLoS)感知,可以利用智能反射面(RIS)辅助,人为构建或增强NLoS反射路径。单基站也可利用超大阵列的近场效应,先感知散射体位置,再将其作为虚拟锚点定位NLoS目标。杂波抑制是提升信噪比的关键,传统方法包括基于多普勒差异的MTI/MTD算法和基于统计学习的Clutter Map。基于信道知识的方法可以利用杂波方向相对固定的特点,构建杂波角度图进行空间滤波。网络化和智能化为解决三维复杂杂波抑制提供了新思路,通过多节点协同感知和机器学习提升抑制效果。

3.5 干扰抑制与协调技术

低空通感一体网络中,通信与感知信号、不同感知任务间的相互干扰普遍存在且动态变化。干扰协调与功率控制是减少干扰的重要手段,通过在时域、频域、空域、码域或功率域进行资源划分与隔离,如“环形”组网协同感知模型,优化节点收发组合以抑制干扰。自适应波束置零技术可以在干扰信号方向上形成零陷,为避免过度置零损失有用信号能量,可采用自适应部分置零策略。参考信号静默技术可以预留部分时频资源不发送信号,专门用于测量该位置的实时干扰。

4 低空通感一体网络布局面临的挑战与应对策略

4.1 面临的挑战

(1) 低空环境复杂性。低空飞行环境复杂,存在建筑物、山脉等障碍物,对信号的传播和覆盖造成影响。同时,低空气象条件多变,如风速、风向、降水等,也会影响飞行器的飞行安全和感知设备的性能。此外,城市峡谷中的遮挡是常态,导致非视距感知问题突出,增加了感知的难度。

(2) 低空飞行器多样性。低空飞行器种类繁多,包括无人机、载人飞行器等,不同类型飞行器的性能、尺寸、飞行速度等差异较大。这增加了感知和识别的难度,需要网络具备更强的适应性和灵活性,以满足不同飞行器的需求。

(3) 政策与监管难题。低空经济的迅猛发展面临着多重政策与监管挑战。低空空域管理的差异性影响跨区域合作与国际交流,需要构建统一、开放、灵活的管理制度。低空飞行器激增带

来安全监管压力,需要完善监管体系,涵盖飞行许可、计划报备、实时监控及应急处理等,确保飞行安全有序。此外,数据隐私与保护问题凸显,通感一体网络处理的数据涉及敏感信息,需要加强数据安全法规建设,加大管理力度。

4.2 应对策略

(1) 技术创新与融合。加强通信、感知、智能和计算等技术的深度融合与协同发展,通过引入更先进的通信协议、感知技术和计算算法,提高系统的实时性、智能性和安全性。例如,利用人工智能技术优化波形设计和感知算法,提升网络的性能。

(2) 标准化与规范化。加快低空通感一体网络的标准化与规范化工作,制定统一的技术标准、测试方法和评估体系,确保不同厂家、不同型号的低空飞行器和通感一体网络设备之间的兼容性、互操作性。同时,加强与国际标准和规范的对接与互认,推动低空经济的全球化发展。

(3) 政策支持与监管完善。政府应出台相关政策,支持低空通感一体网络的建设和发展,加大对关键技术研发和基础设施建设的投入。同时,完善低空空域管理和安全监管体系,建立健全数据隐私保护法规,为低空经济的发展创造良好的政策环境。

5 低空通感一体网络布局的发展趋势

5.1 技术持续创新

未来,低空通感一体网络在技术创新之路上将不断迈进。通感融合波形作为核心技术,将持续优化升级。科研人员将深入研究波形设计算法,通过更精细的参数调整,使通信与感知功能在频谱资源利用上达到更完美的平衡,实现更高的频谱效率,同时显著提升感知精度,能精准捕捉低空飞行器的细微动作与环境变化。感知技术也将不断突破。面对复杂多变的低空环境,如城市峡谷中的信号遮挡、山区多变的气象条件,以及种类繁多的飞行器,新型感知传感器将不断涌现。它们将具备更强的抗干扰能力和环境适应性,能够快速准确地识别不同类型飞行器的特征,为低空飞行安全提供坚实保障。算力的增强同样关键。随着低空通感一体网络数据量的爆炸式增长,强大的算力是处理海量数据、实现实时决策的支撑。

5.2 产业化与商业化加速

随着技术的日益成熟和应用场景的不断拓展,低空通感一体网络将加速产业化与商业化进程。众多企业敏锐捕捉到这一巨大商机,纷纷投身于技术研发与应用推广。从芯片制造、设备生产到系统集成、运营服务,完整的产业链将逐步形成,各环节企业协同发展,共同推动产业壮大。低空经济市场规模将持续扩大,通感一体网络作为核心支撑,将成为重要的收入来源和增长点。企业通过提供高效、安全、智能的低空飞行解决方案和服务,满足物流、测绘、应急救援等领域的多样化需求,创造巨大的经济价值。同时,也将提升社会运行效率,带来显著的社会效益。

5.3 跨界融合与生态共建

低空经济是典型的跨界融合领域,低空通感一体网络将在其中发挥关键纽带作用。它将和航空制造、交通运输、农林业、城市管理等行业深度融合,催生新的业务模式和产业形态,共同推动低空经济创新发展与产业升级,构建开放共赢的低空经济生态。

6 结论

电子信息发展为低空通感一体网络布局提供了强大的技术支持和推动力。低空通感一体网络作为低空经济的关键基础设施,其布局的合理性对于保障低空经济的安全、高效运行至关重要。虽然目前网络布局面临着低空环境复杂性、飞行器多样性、政策与监管难题等挑战,但通过技术创新与融合、标准化与规范化、政策支持与监管完善等应对策略,可以有效解决这些问题。未来,低空通感一体网络将朝着技术持续创新、产业化与商业化加速、跨界融合与生态共建的方向发展,为低空经济的蓬勃发展注入强大动能。我们应抓住电子信息发展的契机,积极推动低空通感一体网络布局的研究和实践,为我国低空经济的发展作出贡献。

[参考文献]

- [1]温凤媛,刘晨阳.关键核心技术研究的逻辑脉络与整合框架:从内涵界定到企业突破路径[J].创新科技,1-18[2026-01-27].
- [2]李贝.6G新技术新网络新通信[M].人民邮电出版社,2024. 01:165.
- [3]张弛,史世海,李昱茜,等.一体化算力网络的演进技术研究[J].信息技术与信息化,2023,(10):178-181.
- [4]杨焯.基于算网一体化演进的算力网络技术研究[J].现代传输,2022,(04):45-48.
- [5]冉春霖.用于卫星通信的K/Ka波段相控阵设计[D].电子科技大学,2025.
- [6]童政.广西布局城乡一体充电网络[N].经济日报,2024-4-18(002).

作者简介:

石启国(1979--),男,汉族,云南昆明人,学位:硕士学位,职称:中级工程师(传输与接入无线方向),研究方向:移动通信网络建设方案、技术、设备研究、低空经济、通感一体、5G-A、配套基础设施。

李志华(1990--),男,彝族,云南玉溪人,学位:学士学位,职称:中级工程师(设备环境),研究方向:移动通信网络建设方案、技术、设备研究、低空经济、通感一体、5G-A、配套基础设施。