

“面向低空经济的通信感知一体化技术”专栏

编者语

随着低空经济加快发展,无人机物流、应急救援、城市巡检、环境监测和低空交通等应用正逐步由试点验证走向规模化运行。低空飞行器需要在三维空间中持续保持可靠连接,还要及时获取周围目标、障碍物和无线环境的信息。传统系统通常采用彼此独立的通信与感知设备,不仅占用额外频谱和载荷,也难以实现网络信息与环境信息的实时交互。通信感知一体化技术通过共享频谱、硬件和信号处理流程,为低空网络提供通信与感知协同运行的技术基础,并可进一步支持飞行控制和空域管理。

与地面网络相比,低空无线网络具有更强的移动性和更复杂的传播环境。无人机高速运动会引起显著的多普勒效应,建筑物遮挡则可能造成视距链路突然中断。无人机位置、波束方向和无线资源之间相互影响,使系统优化面临大量耦合变量。与此同时,低空信道具有较强的开放性,通信信号容易受到窃听和干扰。如何建立适应低空场景的系统架构,并在动态环境中协调通信、感知、资源、安全与控制,已经成为低空无线网络研究中的重要问题。

本专栏围绕“面向低空经济的通信感知一体化技术”这一主题,共收录7篇论文。相关工作涵盖系统架构与关键技术综述、网络化通感一体化、空地节点协同、无人机轨迹与资源优化、高动态通感控系统以及物理层安全设计,反映了国内高校与科研机构在低空通感一体化领域的最新研究进展。

在总体架构与关键技术方面,《面向低空经济的通感一体化系统架构与关键技术综述》从低空经济的典型应用出发,分析不同场景对通信速率、时延、感知精度和覆盖范围的需求。在此基础上,论文围绕系统架构、低空信道、目标感知、移动性管理和安全机制展开梳理,并讨论了生成式人工智能、大规模无人机集群通感算控协同以及复杂电磁环境下鲁棒感知等研究方向。该文为理解低空通感一体化的研究边界和技术体系提供了较为完整的参考框架。

在网络架构与协同优化方面,《面向低空无线网络的网络化ISAC:无人机集群部署和波束赋形协同优化》构建了由多架无人机共同承担通信与感知任务的网络化系统。论文联合设计无人机部署位置以及收发波束赋形,并通过两阶段交替迭代方法解决相关非凸优化问题。《面向无人机-地面基站协同通感一体化系统的多维资源联合分配研究》进一步研究无人机与地面基站的协同传输机制,在满足通信质量和目标定位精度要求的条件下,联合优化无人机轨迹、用户调度和功率分配。论文将深度强化学习与半正定松弛方法结合,在保持约束可行性的同时降低系统发射功耗。这两项工作分别从无人机集群协作和空地异构协同出发,展示了网络化通感一体化在低空场景中的实现方式。

在复杂环境适应与通感控闭环方面,《面向复杂环境的无人机通感一体化多阶段轨迹与资源联合优化》针对城市建筑遮挡造成的链路不确定性,引入与飞行仰角相关的概率视距信道模型。论文通过分阶段更新目标状态,联合调整无人机轨迹和无线资源,使无人机能够主动避开遮挡区域,并在通信性能与目标定位精度之间进行权衡。《低空 UAV 集群 MIMO-OTFS-NOMA 通感控一体化系统及其关键技术研究》面向高速移动的无人机集群,利用正交时频空间调制提升双选信道下的传输与参数估计性能,并通过非正交多址技术支持集群上行回传。论文还利用旋翼微多普勒特征实现目标身份关联,将感知结果反馈至协同轨迹控制过程,初步形成了通信、感知与控制相互支撑的闭环系统。

在低空通信与感知安全方面,《低空无线网络中安全通信与感知一体化性能优化方法》面向无人机中继场景中的窃听威胁,综合考虑安全速率、数据平均信息年龄和感知波束图误差。论文通过优化数据生成速率与功率分配,在通信安全、信息时效性和感知性能之间建立可调节的折中关系。《基于 ADPM 的低空通感一体化安全波束赋形设计方法》则从物理层波束设计入手,以降低目标角度估计克拉美罗界为目标,同时约束通信用户接收能量和窃听方向的能量泄漏。论文提出基于交替方向惩罚法的求解算法,在感知目标和通信用户方向保持较高波束增益,并在窃听方向形成能量零陷。

本专栏所收录的论文从不同层面讨论了通信感知一体化技术如何服务低空经济。相关研究既关注低空网络的总体架构和节点协同,也深入讨论轨迹、波束、功率和多址接入等具体问题;既面向通信与感知性能的提升,也将安全保障和飞行控制纳入统一设计。低空通感一体化目前仍处于快速发展阶段,在真实信道测量、大规模网络协同、低时延闭环控制和系统试验验证等方面仍有许多问题需要深入研究。期望本专栏能够为相关领域的研究人员和工程技术人员提供参考,并推动通信感知一体化技术在低空网络中的研究与应用。

客座编委: 刘 凡 东南大学
郑 乐 北京理工大学
袁伟杰 南方科技大学
杨 杰 东南大学