中国科学:信息科学 2026 年 第 56 卷 第 11 期: 3113–3114
SCIENTIA SINICA Informationis
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS
刊讯

面向低空经济的通信、感知与目标识别专题简介

梁应敞[1], 胡程[2], 王锐[2*], 易伟[1], Antonio DE MAIO[3]

1. 电子科技大学, 成都 611731, 中国
2. 北京理工大学, 北京 100081, 中国
3. University of Naples Federico II, Corso Umberto 40-80128, Italy
* 通信作者. E-mail: wangrui.bit@bit.edu.cn

低空经济是以无人机和电动垂直起降平台等飞行器为主体开展低空飞行活动的新经济形态, 在物流运输、空中交通以及应急救援等领域具有广阔应用. 低空通信、感知与目标识别是支撑保障低空经济发展的关键技术. 低空通信为空中与地面用户构建高速、可靠的链路, 保障信息实时交互与任务协同; 低空感知为飞行器提供高精度的定位、速度与姿态测量, 实现轨迹跟踪与空域可控性优化; 低空目标识别则对低空飞行物进行目标探测、种类划分和身份鉴别, 以强化低空空域安全.

为了展示低空通信、感知与目标识别的最新研究进展, *SCIENCE CHINA Information Sciences* 在 2026 年 69 卷第 11 期出版了 “面向低空经济的通信、感知与目标识别专题” (Special Topic: Communication, Sensing, and Target Recognition for Low-Altitude Economy), 汇集了低空通感一体、射频侦测定位、城市环境雷达目标检测、多模态智能融合识别等研究的最新进展及创新成果. 经过严格评审, 本专题共收录 7 篇文章. 这些成果在一定程度上代表了当前最新的研究现状, 我们将其呈现给读者, 以期推动低空通信、感知与目标识别的发展深度与广度.

面向低空信息网络中通信、 感知与身份识别功能的深度融合需求, 评述 “Integrated sensing, communications, and identification for low-altitude economy” 系统梳理了低空通信、环境感知及目标身份识别的研究进展, 分析了典型低空应用场景对多功能协同融合的需求, 并介绍了通感一体化系统架构、信道建模、统一信号模型、资源分配及飞行器轨迹优化等关键技术. 在此基础上, 提出了感知、通信与身份识别一体化技术范式, 重点探讨了基于反向散射通信的飞行器电子身份标识机制, 通过将反向散射设备作为飞行器的电子牌照, 实现目标身份信息的获取. 进一步建立了感知与身份识别一体化及感知、通信与身份识别一体化的系统模型, 分析了多功能接收机设计与不同功能间的协同增益, 并展望了信息论框架、人工智能赋能及可重构智能表面辅助等未来研究方向, 为低空信息网络由通感协同向多功能深度融合演进提供了系统性参考.

多基站协作通感系统需要在有限的通信与计算资源下兼顾目标感知任务的处理时延和能量消耗. 围绕这一多目标资源优化问题, 论文 “Delay-energy tradeoff for cooperative ISAC systems: a learning-based multi-objective optimization approach” 面向配备边缘服务器的多基站协同感知场景, 综合考虑通信带宽、计算资源及协同检测概率等约束, 构建时延与能耗的多目标优化模型, 并将其转化为多目标马尔可夫决策过程. 针对优化问题的复杂性, 提出融合进化多目标优化与时空自注意力增强近端策略优化的学习框架, 通过时空特征建模提升策略学习能力, 并引入适应度共享机制维持种群多样性以避免过早收敛, 从而获得分布均匀的帕累托最优策略集. 仿真结果表明, 该方法具有更快的收敛速度和

引用格式: 梁应敞, 胡程, 王锐, 等. 面向低空经济的通信、感知与目标识别专题简介. 中国科学: 信息科学, 2026, 56: 3113–3114, doi: 10.1360/SSI-2026-0580
Liang Y C, Hu C, Wang R, et al. Special topic: communication, sensing, and target recognition for low-altitude economy. Sci Sin Inform, 2026, 56: 3113–3114, doi: 10.1360/SSI-2026-0580

© 2026《中国科学》杂志社

更优的帕累托解集质量, 揭示了带宽与计算资源对时延 – 能耗权衡关系的影响, 为资源受限条件下协同感知系统的高效运行提供了优化思路.

低空多传感器网络通常面临时钟同步困难、通信带宽受限及集中式数据处理开销较高等问题. 对此, 论文 “Decentralized direct localization of low-altitude targets in clock-asynchronous multi-sensor networks” 提出了一种轻量化去中心化直接定位框架, 以降低系统对严格时钟同步与集中式融合中心的依赖. 该方法采用局部估计与融合更新相结合的处理架构, 在局部估计阶段, 利用信赖域增强的高斯 – 牛顿算法, 基于各节点的观测似然信息联合处理目标状态与节点时钟偏差, 避免传统网格搜索带来的高计算开销; 在融合更新阶段, 通过邻近节点间的低维信息交换, 结合费舍尔信息引导的加权一致性融合及节点调度机制, 提高全局定位精度与网络可扩展性. 数值仿真结果表明, 该方法在时钟异步条件下的定位性能优于具有代表性的去中心化方法, 并能够以显著降低的通信开销获得接近集中式直接定位的精度, 为资源受限低空感知网络的高效协同定位提供了新的技术途径.

为满足低空危险天气监测中的高分辨率探测与通信协同需求, 论文 “Optimal sparse conformal array design for dual-polarized weather radar with integrated communications in low-altitude airspace” 研究了飞艇载双极化气象雷达的稀疏阵列与波束形成联合设计问题. 针对大孔径探测与平台气动、载荷约束间的矛盾, 该方法构建双极化共形阵列探测模型, 以提取高分辨率极化特征, 增强复杂低空环境下的危险天气感知能力. 在此基础上, 设计极化发射波束图调制方案, 将飞行安全信息嵌入极化分量, 实现气象感知与空地、空空通信的协同设计, 并采用交替方向乘子法联合优化稀疏阵列布局及波束形成参数, 以保障不同扫描角度下的感知性能. 基于实际气象雷达数据构建的仿真结果表明, 该方法在提升气象感知精度的同时, 可将数据传输速率提升至原来的 3 倍, 为低空大范围气象监测及通感一体化基础设施建设提供了可行方案.

随着无人机射频信号日益多样化, 传统闭集分类方法难以识别未知信号. 论文 “RF-based multi-drone detection and classification under open-set setting” 聚焦未知无人机射频信号易被误判为已知类别或背景噪声的问题, 提出了一种由粗到细的多无人机飞行控制信号检测与分类框架. 该方法利用跳频突发信号在时频域中的形态特征, 构建类别无关的候选区域生成模块, 提高已知与未知信号的检测召回率. 进一步融合信号纹理、几何及位置特征, 通过可变形注意力机制提取局部精细特征, 并利用全局自注意力建模同一时频帧内离散跳频突发之间的关联关系, 增强信号的全局语义表征. 在此基础上, 采用多目标优化策略约束全局语义特征分布与帧内语义一致性, 结合离群点分析与聚类实现未知类别信号的自适应拒判和类别发现. 真实场景数据集上的实验结果表明, 该方法在多无人机信号检测精度及开放集泛化能力方面均优于现有方法, 为未知无人机入侵监测提供了有效的技术手段.

雾天、低照度及杂波干扰易造成雷达与光学观测质量动态失衡, 降低融合识别可靠性. 论文 “Robust radar-optical fusion for low-altitude target recognition under time-varying heterogeneous degradation” 研究了异构模态退化机理不同、观测可靠性随时间非同步变化带来的融合识别难题, 提出了一种雷达 – 光学鲁棒融合网络. 该方法通过梯度感知与语义引导机制增强光学纹理、轮廓及雷达微多普勒结构特征, 利用监督对比学习将异构特征映射至统一语义空间, 并结合置信度驱动的动态门控机制, 通过双向跨模态交互自适应评估模态可靠性与融合贡献. 同时, 采用两阶段训练策略逐步实现跨模态语义对齐与全局语义优化. 实验结果表明, 该方法在自建多模态数据集上的识别准确率达到 96.45%, 较现有先进融合算法提升 8.71%, 有效提高了时变异构退化条件下低空目标融合识别的鲁棒性.

城市低空强杂波与多径干扰使弱小无人机难以检测. 为提升复杂杂波背景下的目标检测性能, 论文 “Towards low-altitude UAV detection in urban radar clutter: a benchmark and spatio-temporal channel transfer network” 构建了包含 23700 帧高分辨率雷达观测数据的 UAVRadar 基准数据集, 并利用实时动态差分定位技术获取精确的目标位置标注. 在此基础上, 提出一种时空通道迁移网络, 采用基于主成分分析的啁啾采样策略压缩冗余信息, 通过时空通道迁移机制将啁啾维度中的动态特征映射至通道空间, 实现空间与时序特征的有效建模, 并结合优化三维 ConvFormer 网络以及 Soft-BCE 损失函数, 以增强弱目标表征与背景干扰抑制能力. 实验结果表明, 该方法的 mAP50 达到 91.16%, 优于现有对比方法, 为复杂城市环境下的低空无人机可靠检测提供了有效技术支撑.

以上是本专题收录的全部文章, 衷心感谢所有撰稿作者, 并诚挚感谢所有匿名审稿人对稿件及时且细致的评审工作.