

# 专题:6G 与物联网技术

## 特邀策划人



徐勇军

重庆邮电大学通信与信息工程学院教授,博士生导师,现任重庆邮电大学高等科学研究院常务副院长。重庆市创新争先先进个人、重庆市学术技术带头人后备人选、新重庆青年创新人才、重庆市巴渝学者青年学者。主要从事 B5G/6G 通信、物联网、通感一体化、卫星通信、车联网、无线资源管理与网络优化等方面的基础与应用研究。主持国家重点研发子课题、国家自然科学基金、重庆市自然科学基金等国家级、省部级项目 20 余项,在 *IEEE Commun., Surv., Tuts.* 等期刊发表论文 110 余篇,荣获优秀论文奖 6 篇(其中一等奖 3 篇),ESI 高被引 4 篇,出版专著 2 部,获国家授权发明专利 40 余项,美国发明专利授权 1 项,科技成果转化 20 余项。荣获省级/学会科学技术一等奖 1 项、二等奖 5 项、三等奖 2 项,教学成果奖 4 项(其中一等奖 2 项),省级一流课程 2 门,教学竞赛奖 4 项(其中一等奖 1 项),参与 IMT-2030《智能超表面技术》等技术白皮书 4 项。获评《电子与信息学报》《电讯技术》《无线电工程》等期刊优秀编委、重庆市电子学会十佳优秀科技工作者、中国通信学会分支机构先进工作者、重庆市九三学社优秀社员、重庆市电子设计竞赛优秀指导教师、重庆市优秀硕士学位论文指导教师、重庆邮电大学优秀教师/最美科技工作者等。现任 *IEEE Communications Letters*, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, *Signal Processing*,《通信学报》《电子与信息学报》等 10 余个国内外期刊编委。



张建华

北京邮电大学教授,现任北邮-中移联合研究院执行院长、网络与交换技术全国重点实验室副主任。国家杰出青年科学基金获得者(及接续资助),中国电子学会会士、中国通信学会会士,曾担任 ITU-R IMT-2020(5G)信道模型起草组主席,享受国务院特殊津贴专家。主要从事移动通信的信道建模和传输技术研究,在 *IEEE JSAC* 等发表论文 400 余篇,8 篇获优秀论文奖,获国家授权发明专利 60 余项,国际 PCT 7 项,获专利优秀奖 2 项,被采纳标准化文稿近 200 篇,4G 到 5G 完成信道模型国际标准 5 项。荣获国家科学技术进步奖一等奖、国家技术发明二等奖 2 次,2022 年第十七届中国青年女科学家奖、茅以升青年科技奖等荣誉。



李兴旺

河南理工大学物理与电子信息学院副教授,博士生导师,主要从事无线通信物理层研究。教育部人才计划评审专家,中国科协财政项目评审专家,河南省教育厅学术技术带头人,中国通信学会人工智能专委会委员。主持国家重点研发子课题、省部级重点等项目 10 余项。在本领域发表学术论文 100 余篇,出版专著 6 部,授权发明专利 25 项,获省部级一等奖 1 项、二等奖 4 项、三等奖 2 项,荣获中国研究生电子设计竞赛全国总决赛优秀指导教师奖,被评为 *IEEE Transactions on Communications* (2022), *IEEE Communications Letters* (2023) 和《电子与信息学报》(2022) 优秀评审专家,研究成果获 IEEE 海因里希·赫兹最佳通信快报奖提名。现担任《通信学报》《电子与信息学报》、*IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *IEEE Transactions on Communications*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *IEEE Systems Journal*, *IEEE Sensors Journal* 等期刊编委。

## 内容导读

随着 5G 网络的广泛部署与应用,全球通信产业正迈入以智能化、泛在化、绿色化为核心特征的 6G 发展新阶段。6G 不仅聚焦于极致的通信性能提升,还承载着构建智慧社会、推动产业数字化转型的使命。在这一背景下,物联网(Internet of Things, IoT)作为“万物互联”的核心支撑技术,正朝着更大规模、更高智能、更强感知的方向演进,二者的深度融合成为引领未来通信技术发展的关键动力。

为解决传统 IoT 能耗高、频谱紧缺等问题,6G 时代的新型 IoT 技术不断涌现,从而激发了对 IoT 新型通信范式的探索与实践,带来了新的研究机遇。为了呈现该领域的最新研究成果,并推动学术界与工业界的技术进步和交流,特组织了本专题,旨在汇聚专家学者的成果,共同探讨新一代 IoT 关键问题与创新路径,助力构建绿色、智能、高效的未来 IoT。

### (1) 无线能量传输与波束赋形设计

随着 6G 通信时代的到来,IoT 终端的数量呈指数级增长,传统依赖电池供电的方式在维护成本、系统能耗和可持续性方面面临严峻挑战。为实现“零电池”设备广泛部署,融合无线能量传输与无线信息能量同传(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer, SWIPT)的通信方式成为突破当前瓶颈的重要方向。为应对传统供电方式在 IoT 场景下存在的高功耗与部署复杂等问题,《STAR-RIS 辅助无线供能通信的吞吐量优化研究》提出了一种基于可同时透射与反射的有源可重构智能表面(Active Simultaneously Transmitting and Reflecting Reconfigurable Intelligent Surface, ASTAR-RIS)的无线传输架构。该架构通过引入能量分裂与分时传输机制,联合优化 STAR-RIS 相位矩阵与通信资源配置,显著提升了吞吐量与能效。采用半定松弛与分式规划方法,将非凸问题有效求解,为能量与信息协同传输系统的设计提供了有益参考。

在高频近场 IoT 场景中,动态超表面天线(Dynamic Metasurface Antenna, DMA)因其响应灵活、物理尺寸小、功耗低等优势,成为实现紧凑型近场通信设备的理想选择。《基于动态超表面天线的近场无线数能同传波束设计》聚焦于 DMA 辅助的下行近场无线数能同传(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer, SWIPT)系统,提出一种联合优化 DMA 频响矩阵与数字预编码向量的方案。在确保信息用户最小速率约束的前提下,有效增强了能

量接收能力,并仿真分析了用户间距离、最小信干噪比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)等因素对系统性能的影响。

与此同时,通信安全问题在资源受限的 IoT 中同样不容忽视。相较传统密码学方法,物理层密钥生成技术以其轻量、低复杂度等特点,成为实现低功耗安全通信的重要补充。《硬件损伤情况下 IRS 辅助密钥生成系统鲁棒波束赋形设计》针对发射与接收设备存在硬件损伤的情形,构建了鲁棒优化模型,采用交替优化、逐次凸近似与惩罚函数等方法,对发射波束与 IRS 相位矩阵进行联合优化,提升了密钥生成速率的稳定性和系统安全性。

### (2) 系统协同优化与智能通信协议

面对频繁变化的网络状态、多源异构的计算需求和海量终端的接入挑战,传统通信协议与静态资源分配机制难以满足未来 IoT 在低时延、高可靠与智能调度方面的迫切需求。因此,构建具备“环境感知、自主决策、协同优化”能力的智能通信体系成为研究热点。

针对车联网空中小区频繁切换带来的连接中断与任务失效问题,《多层空基车联网中基于切换感知的任务卸载与资源分配》构建了融合高空平台与无人机的多层空基边缘计算架构。该方案创新性地引入“切换时间窗预测机制”,在保证车载设备能耗与算力约束的前提下,联合优化带宽分配、计算卸载与资源调度策略。为降低混合整数非线性问题求解复杂度,设计了三阶段交替优化算法,显著提升了系统响应能力与任务稳定性,在大任务量下总时延可降低 25%以上。

在飞行自组网(Flying Ad hoc Network, FANET)等灾难或无基础设施场景中,网络拓扑快速变化、链路频繁中断等问题更为严重。《面向通信空白场景的 DRL 辅助 FANET 双跳信息增强路由协议》提出了一种结合马尔可夫决策建模与深度强化学习的智能路由方法。通过融合双跳邻居节点链路信息与信道容量状态,该方法能动态感知网络变化并自主决策路由路径。仿真结果显示,该方法在不同规模与负载条件下都显著降低了平均端到端时延,表现出良好的泛化性和鲁棒性。

为进一步提升 IoT 系统的生命周期管理与数据收集效率,《基于强化学习的无人机辅助高效能数据收集方法》利用 UAV 的灵活性构建空地协同数据采集链路,并提出集成深度强化学习与预测神经

网络的智能调度机制。该机制可根据历史流量特征智能预测节点需求,提前规划飞行路径与资源调度,从而降低 IoT 设备能耗,延长网络整体寿命。实验表明,该算法在预测数据占比仅 12.5% 时,系统生命周期可延长 1.2 倍。

此外,《面向用户随机部署的 RSMA 有源 RIS 辅助通信系统性能研究》关注大规模 IoT 系统随机用户分布下接入性能不佳的问题,在 Nakagami-m 信道模型下,提出了面向有源 RIS 辅助 RSMA 架构的接入优化策略。通过构建级联信道统计模型,采用矩匹配方法获得闭式中中断概率表达式,并进一步推导分集阶数与渐近性能,为功率分配策略提供理论依据。结果表明,在合理配置下,该系统可显著降低中断概率并提升链路鲁棒性,适用于密集部署 IoT 环境中的接入保障。

### (3) 低功耗 IoT 架构与高精度定位

当前 IoT 技术正从“可连接”向“泛在感知与智能响应”发展,这一趋势要求 IoT 设备不仅具备大规模部署能力,更需具备低功耗运行、长生命周期与高精度定位等综合性能。然而,受限于当前能源供给方式、频谱使用效率及定位技术的环境适应能力, IoT 系统在严苛条件下仍面临能效瓶颈与感知失效等问题。因此,构建高效通信架构与复杂环境下稳定的高精度定位机制,成为下一代 IoT 研究中的关键技术方向。

针对全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)在室内、隧道等弱信号环境中失锁率高、定位失效的问题,《弱信号环境下基于改进扩展卡尔曼滤波的高精度定位算法》提出一种融合超宽带(Ultra-Wideband, UWB)测距与改进扩展卡尔曼滤波的鲁棒定位方法。该算法引入多新息融合与遗忘因子机制,充分利用历史观测信息,增强系统对噪声扰动与信号不连续的适应性。实验结果表明,该方案将定位均方根误差降低至 0.179 m,显著提升了系统在复杂环境下的连续性与精度,具有良好的实际部署价值。

在复杂智能电网环境中,传统定位系统常因大功率设备干扰而难以实现弱信号高精度定位。《智能超表面辅助的 NOMA 系统定位性能优化》面向多基站多用户干扰条件下 RIS-NOMA 通感系统的定位问题,构建以用户定位误差为优化目标的联合资源分配模型。采用拉格朗日对偶法与次梯度法,应对多小型基站干扰、功率控制及服务质量(Quality of Service, QoS)保障等非凸优化挑战。结果表明,在资源配置一致条件下,该 RIS-NOMA 结构可显著降低平均定位误差,提升系统对弱定位信号的识别能力,为智能电网环境下的高精度定位提供了可行思路与算法支撑。

针对 IoT 在大规模接入与能量受限条件下面临的挑战,《低功耗物联网研究综述:原理、架构与应用场景》对当前低功耗 IoT 技术的发展脉络进行全面梳理。首先回顾了典型低功耗通信原理及其在 LoRa、NB-IoT 等协议中的实现机制,进一步分析了面向不同应用环境的架构设计差异。在此基础上,总结了低功耗 IoT 在智能农业、远程监控等领域的典型应用,并展望其在 6G 时代向绿色节能、自适应协议与智能协同演进的关键技术路线。文章为研究者系统理解低功耗 IoT 原理、架构等提供参考。

综上,本专题全面展示了 6G 与 IoT 融合技术的最新研究进展,内容涵盖了无线能量传输与波束设计、系统协同优化与智能通信协议、低功耗 IoT 架构与高精度定位等多个关键方向。各篇文章从理论建模到算法设计,再到典型应用验证,系统探讨了 STAR-RIS、DMA、UAV、FANET、RSMA 等新兴技术在下一代 IoT 场景中的协同作用,展现了该领域在提升能效、增强智能、拓展功能等方面的创新潜力。希望本专题能够为读者深入理解 IoT 核心问题与前沿技术提供有益启发与理论支撑,进一步推动 IoT 在未来通信系统中的创新发展与规模化落地。

最后,感谢各位专题评审专家的专业指导与辛勤付出,同时衷心感谢所有作者的高质量投稿与杰出贡献!