



专题：面向6G的通感算一体化

基于专利数据的6G通感一体化技术现状与发展研究

于晓溪¹, 章嘉懿²

(1. 国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心, 北京 100160;

2. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 通感一体化 (integrated sensing and communication, ISAC) 技术作为6G潜在的关键技术之一, 通过将通信与感知功能深度融合, 拓展了通信系统的功能边界。基于对与6G ISAC技术相关专利的申请趋势、地域布局和主要创新主体的多维分析, 梳理出主要技术分支波形设计、干扰与资源管理、波束成形、智能超表面 (reconfigurable intelligent surface, RIS) 辅助和人工智能辅助的专利技术发展路径, 揭示全球范围内相关技术布局与竞争态势。从专利视角揭示6G ISAC技术的研究热点与发展趋势, 旨在为国内相关技术的研究提供有力引导与参考依据。

关键词: 通感一体化; 波形设计; 干扰; 波束成形; 智能超表面

中图分类号: TN82; D923.4

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2026037

Research on the current status and development of 6G integrated sensing and communication (ISAC) technology based on patent data

Yu Xiaoxi¹, Zhang Jiayi²

1. Patent Examination Cooperation Beijing Center of the Patent Office, CNIPA, Beijing 100160, China

2. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: Integrated sensing and communication (ISAC) technology, regarded as one of the potential key technologies for 6G, expands the functional boundaries of communication systems by deeply integrating communication and sensing functions. Through a multi-dimensional analysis of the application trends, geographical layouts, and major innovative entities of patents related to 6G ISAC technology, the development paths of patent technologies for the main technical branches, including waveform design, interference and resource management, beamforming, and reconfigurable intelligent surface (RIS) assistance, were systematically sorted out. This analysis revealed the layout and competitive landscape of related technologies on a global scale. From the perspective of patents, the research hotspots and

专题策划人: 陈山枝, 贡毅, 李佳珉, 赵军辉

收稿日期: 2025-07-02; 修回日期: 2025-11-11

通信作者: 章嘉懿, zhangjiayi@bjtu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62471027)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.62471027)



development trends of 6G ISAC technology were disclosed, providing strong guidance and reference for domestic research on related technologies.

Key words: ISAC, waveform design, interference, beamforming, RIS

0 引言

通感一体化 (integrated sensing and communication, ISAC) 技术作为一种新兴技术, 打破了传统通信与感知系统相互独立的架构模式, 实现了通信与感知功能的深度融合, 达到了“通信即感知、感知即通信”的效果^[1-2]。该技术通过共享频谱资源、硬件平台及信号处理链路, 在提升频谱效率、降低硬件成本以及优化时延控制等方面成效显著, 为低空经济、智慧交通、健康医疗等新兴场景提供了关键技术支撑^[3]。随着5G演进 (5G-Advanced, 5G-A)、6G 以及人工智能 (artificial intelligence, AI) 等前沿技术的不断突破, ISAC 技术从早期雷达-通信功能的简单叠加逐步演进为原生一体化架构。国际电信联盟 (International Telecommunications Union, ITU) 已将ISAC 技术列为6G 核心场景之一, 中国IMT-2030 (6G) 推进组、第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 等标准化组织也正在加速推进该技术的标准化进程^[4-6]。

6G ISAC 技术的独特性在于其通过深度融合通信与感知功能, 实现了频谱资源的高效复用与系统性能的显著提升。相较于传统通信与感知系统相互独立的架构, ISAC 技术不仅降低了硬件成本, 还通过共享信号处理链路优化了时延控制, 为低空经济、智慧交通等新兴场景提供了前所未有的技术支撑。其创新性体现在: 通过原生一体化架构设计, 实现了通信与感知功能的互惠增强, 满足了6G 时代万物智联对高精度定位、环境感知及实时通信的多元化需求。

专利保护在推动ISAC 技术创新发展中扮演着至关重要的角色。专利以公开换保护, 专利申

请文件的公开促进了技术研究成果的共享与传播, 避免重复研发, 加速科学技术进步。对专利数据进行深入挖掘分析, 展示技术发展趋势、竞争格局以及潜在的市场机会, 能够助力企业制订战略决策、优化资源配置、提高创新能力和市场竞争力, 也为政府和研究机构评估政策效果、指导科技发展规划提供依据。目前, 全球范围内ISAC 技术的专利布局竞争态势反映了其战略价值。然而, 现有6G ISAC 技术研究多聚焦单一技术分支, 缺乏对专利生态的系统性解析。从发展趋势来看, 在新一代通信技术演进中, 6G ISAC 技术因融合通信与感知功能、满足万物智联时代多元化需求而成为关键发展方向^[7-9]。随着无线通信技术从单一通信功能向通信感知融合的演进, 专利作为技术创新的重要载体, 其分布与布局能够直观反映技术发展态势、市场竞争格局与创新热点。

然而, 6G ISAC 技术在发展过程中, 仍面临诸多挑战。在理论层面, 通信与感知功能的协同优化机制尚未完全成熟, 不同场景下的性能平衡存在困难; 在技术实现上, 高频段通信带来的信号衰减、复杂环境下的干扰抑制等问题, 制约着ISAC 系统的性能提升与应用拓展。对全球范围内相关专利数据的系统性梳理与深度剖析, 可以精准洞察6G ISAC 技术的发展规律、明确关键技术分支、把握行业竞争格局, 为创新主体提供重要参考, 助力突破技术瓶颈, 推动6G ISAC 技术从理论研究加速迈向实际应用, 从而在国际竞争中占据有利地位。

1 全球专利态势多维分析

本文依据的专利数据是在incoPat 全球专利数

数据库中进行检索获得的,具体采用通信感知一体化、ISAC作为关键词进行中英文扩展以构建检索式,完成初步检索;根据初步检索结果调整关键词、扩展分类号表达,以完善初步检索结果。针对初步检索结果中的专利文献数据进行同族合并以去除重复数据,以专利申请主题内容的相关性作为数据筛选标准,通过主题聚类、关键词识别、分类号筛选、人工去噪等方法进行数据整理和清洗^[10-11],确保专利主题内容直接涉及6G ISAC技术(如波形设计、干扰与资源管理、波束成形、智能超表面(reconfigurable intelligent surface, RIS)辅助等),排除仅泛泛提及通信与感知但无实质性技术融合的专利申请,提高数据完整性和准确性,从而高质量完成6G ISAC技术专利数据集的构建。本文将此数据集作为研究的数据基础和依据,其中包含2019年1月1日—2025年3月31日公开的869件全球专利申请,申请类型包括发明专利、实用新型专利。

基于已创建的6G ISAC技术专利数据集,本文从专利申请趋势、专利地域布局、主要创新主体(申请人)这3个维度对全球专利态势展开分析,通过专利分析可以获知6G ISAC技术的发展历程、研究现状及市场格局,并能为创新主体未来技术研究方向、专利布局提供有价值的参考和依据。

1.1 6G ISAC专利申请趋势

凭借申请趋势可以从宏观层面把握分析对象在各时期的专利申请热度变化,但由于专利申请在申请提交的18个月后才可公开,因此2024年之后的专利申请数量并非实际专利申请数量,此阶段的专利申请趋势仅供参考。

历年的专利申请数量在一定程度上反映了6G ISAC技术的研发热度与发展态势。为了深入剖析6G ISAC技术的发展脉络,分析上述已创建的全球范围内6G ISAC技术专利数据集,本文绘制出2019—2025年6G ISAC专利申请趋势,如图1所示。从图1可清晰地看出,6G ISAC专

利申请数量呈整体上升的趋势,同时也体现出阶段性增长的特征,大致可分为萌芽期(2019—2021年)与快速成长期(2022年后)两个阶段。

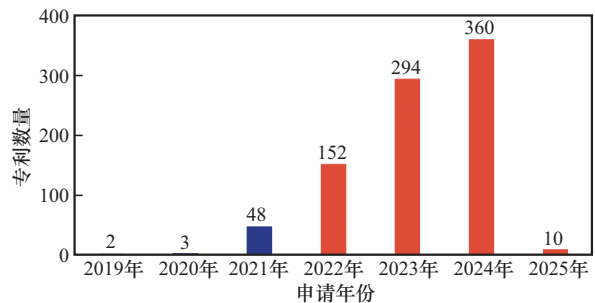


图1 6G ISAC专利申请趋势

2018年12月在IEEE全球通信会议(Global Communications Conference, GLOBECOM)上,基于无线频谱的通信感知一体化技术作为一个研究方向被正式提出,ISAC技术引起了学术界的广泛关注。因此,2019年起,6G ISAC技术发展进入萌芽期(2019—2021年),这一阶段,专利申请数量相对较少,但呈逐渐上升趋势。第一届6G ISAC学术研讨会于2021年4月15日在成都召开,该研讨会提出了“通信感知一体化,开启无线新未来”的目标,加快推进了6G ISAC技术领域研究进展。同年9月,IMT-2030(6G)推进组发布了《通信感知一体化技术研究报告》。从图1可以看出,2021年6G ISAC专利申请数量较之前有增多趋势,但专利年申请量仍不足50件。虽然此阶段的专利申请数量有限,但这些专利为6G ISAC技术发展指明了方向,开启了业界对通信与感知融合的探索之路。

2022年后,6G ISAC技术发展驶入快车道。2022年3月,华为6G研发团队研发并展示了太赫兹ISAC原型样机,为6G无线通信系统打开了全新的业务可能性;同年11月,华为发布了《Integrated Sensing and Communication (ISAC) — From Concept to Practice》,详细阐述了ISAC的概念、应用场景及相关案例。与此同时,IMT-2030(6G)推



进组在2022年11月召开的2022全球6G发展大会上发布了《通信感知一体化技术报告（第二版）》，在2023年10月召开的第三届6G ISAC学术研讨会上发布了《6G通信感知一体化评估方法研究报告》。随着产业发展与学术研究的推进，全球创新主体加快了专利布局的步伐，结合图1能够看出，从2022年开始，6G ISAC专利申请数量显著增加，6G ISAC技术进入快速成长期（2022年后），专利申请量逐年快速增长。相信随着6G标准化进程的推进，ISAC技术将落地于更多应用领域，6G ISAC技术相关专利申请数量近期仍会持续上升。

1.2 6G ISAC 专利申请地域布局

6G ISAC技术相关专利申请地域分布表征专利申请的目标市场，其以专利申请公开地域为指标，统计全世界各国及地区6G ISAC技术相关专利申请公开的数量。6G ISAC专利申请地域分布见表1。

表1 6G ISAC专利申请地域分布

专利申请公开地域	专利数量/个	占比
中国	693	79.75%
世界知识产权组织	112	12.89%
美国	22	2.53%
土耳其	21	2.42%
印度	8	0.92%
英国	3	0.35%
加拿大	2	0.23%
欧洲专利局 (European Patent Office, EPO)	2	0.23%
韩国	2	0.23%
印尼、新加坡、越南、南非	各1	各0.12%

从表1可以看出，在ISAC技术的目标市场专利布局上，中国是最主要的目标市场，专利申请量占据了全球市场总量的79.75%，正是由于中国市场规模大、消费能力强、市场需求多，因此，中国作为目前最大的目标市场在ISAC技术领域

占有重要地位，具有极大的市场竞争力。位于第二位的目标市场是世界知识产权组织（World Intellectual Property Organization, WIPO），这说明众多跨国企业、科研团队等通过WIPO进行《专利合作条约》（Patent Cooperation Treaty, PCT）专利申请，以此来寻求在多个国家和地区的专利保护，覆盖更为广泛的国际市场，这反映出ISAC技术在国际层面的关注度较高，是全球科研力量重点布局的前沿技术领域。虽然美国在通信、雷达等相关技术领域一直处于世界领先水平，但其在6G ISAC技术的专利申请量占比相对较低，仅为2.53%，这可能是由于美国前期重点投入在基础理论研究或军事应用场景等方面，侧面反映了美国6G商用市场需求量相对较少。紧随其后的目标市场为土耳其，专利申请量占2.42%，其也是创新主体寻求6G ISAC技术相关专利保护的目標市场国家。

从技术发展和专利布局来看，在专利申请时间分布上，统计期间中国作为专利公开国展现出持续且活跃的态势，这表明各创新主体在中国6G ISAC技术研发上保持着长期稳定的投入与探索，技术主题涵盖广泛，涉及ISAC各关键技术（波束、资源管理等）。全球各创新主体通过在中国申请与6G ISAC技术相关的专利，能够为产品或技术进入中国市场构筑坚实的法律壁垒，也有利于抢占更多的市场份额。公开于美国的专利申请则呈现阶段性集中爆发的特点，主要集中在2023—2024年，其技术主题涉及波束管理、波形调制、参考信号设计等基础理论方面；专利申请人除美国本土公司（如苹果公司）外，全球众多创新主体（如三星、华为、中兴等）将6G ISAC专利布局在美国，首要原因在于美国具有庞大且成熟的通信市场。例如，美国的智能汽车产业蓬勃发展，对车联网通信技术要求极高，6G ISAC技术有望实现更高效的车辆间通信，这体现了全球申请人的市场导向与技术协同

的专利布局策略。公开于土耳其的专利申请集中于2024年，整体起步较晚，专利申请人多为土耳其本土公司，显示出土耳其在该领域研发投入的逐步增加以及技术成果的逐步积累；技术主题涉及ISAC物理层安全性以及具体场景的应用，但受资源或技术积累限制，仍处于初期起步阶段。

1.3 6G ISAC主要创新主体（申请人）

为了全面了解6G ISAC技术创新主体，识别6G ISAC技术发展的推动者，勾勒出各创新主体在6G ISAC技术领域的专利布局力度与活跃度，本文统计分析全球6G ISAC技术相关专利申请的创新主体，助力研究人员确定研发方向以及适时调整研发思路，从而促进6G ISAC技术的发展与创新。

本文通过对上述已创建的全球范围内6G ISAC技术专利数据集进行统计分析，来自中国的创新主体的专利申请量为799件，占比91.84%。来自中国的创新主体在全球范围内6G ISAC领域的知识产权保护以及研究创新方面处于主导地位，在国内构建了坚实的保护屏障。正是我国对6G技术研究的大力支持，以国家战略驱动创新，以及国内产学研各界的紧密合作，才使得我国6G技术得以快速发展。

本文统计了全球6G ISAC技术相关专利申请

多于10件的主要申请人及其申请数量，如图2所示。从图2可以看出，专利申请量大于10件的申请人共16个，均为我国的创新主体。6G ISAC专利申请数量排名靠前的申请人格局呈现终端设备企业主导、高校协同、三大运营商积极跟进的多元态势。我国终端设备企业的领头军——维沃移动通信有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司凭借深厚的技术积累与市场敏锐度，在6G ISAC相关专利申请数量上占据前列。以维沃移动通信有限公司为例，其66件专利布局表明企业将ISAC视为提升终端产品竞争力的核心技术方向，通过在手机、智能穿戴设备等终端集成感知与通信融合功能，有望为用户带来高精度定位导航、手势交互等创新体验，加速技术成果向消费级产品的转化；华为技术有限公司与中兴通讯股份有限公司则依托在通信设备制造与通信网络建设领域的优势，重点探索ISAC在基站设备、通信系统架构层面的优化方案，推动技术在6G网络中的规模化部署。中国联通、中国电信、中国移动三大运营商作为通信网络的运营主体，积极布局6G ISAC技术专利，旨在通过ISAC技术优化网络性能，实现对网络环境的智能感知与资源动态调配，提升用户通信服务质量，同时挖掘新的业务增长点。

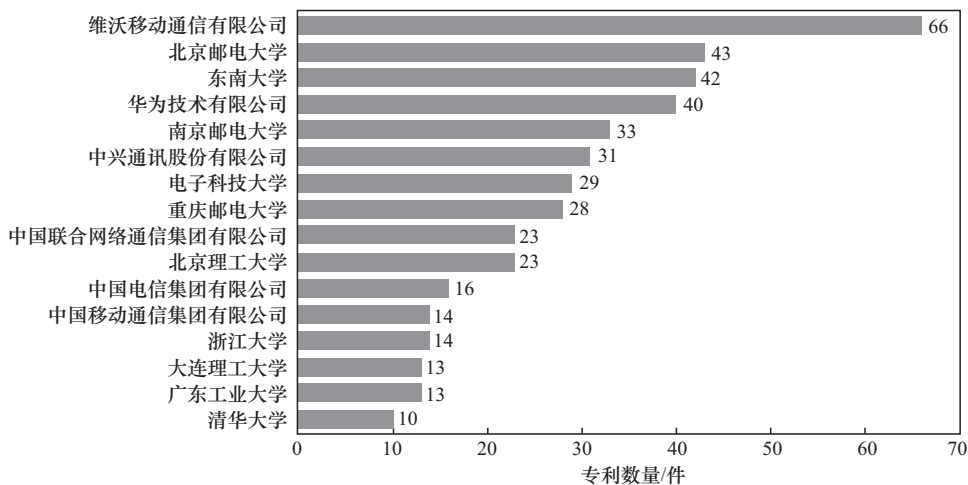


图2 6G ISAC专利申请的主要申请人及其申请数量



进一步分析图2，从申请人类型看，专利申请量大于10件的16个申请人中高校占10个，可见除终端设备企业和三大运营商外，高校同样在6G ISAC技术发展中发挥关键作用。北京邮电大学、东南大学等高校凭借在通信理论、信号处理等基础学科的优势，在6G ISAC技术的基础算法、理论模型等领域持续深耕，其专利申请多聚焦于通信感知融合的信号处理、波形设计等底层逻辑方面，为产业发展提供了坚实的理论支撑。南京邮电大学、重庆邮电大学等行业特色高校则结合自身学科优势，在ISAC技术与物联网、智能交通等垂直行业的交叉融合方面开展研究，拓宽技术应用边界。高校6G ISAC专利申请量的增加，说明近年来高校越来越注重知识产权保护，这得益于我国高校在“双一流”建设背景下对科研创新与成果转化的重视，以及国家对校企合作促进通信产业自主创新的政策支持。

2 6G ISAC相关专利技术分支与应用领域

基于上述已创建的全球范围内6G ISAC技术专利数据集，本文探讨波形设计、干扰与资源管理、波束成形、RIS辅助、AI辅助5个技术分支的发展趋势与挑战，并重点关注无人机、智能交通两个应用领域中上述5个分支技术的创新方向，旨在为各创新主体拓展研究思路提供支持。

2.1 波形设计

ISAC领域中的波形设计，是指构建能同时满足通信与感知功能需求的信号波形，打破传统通信、感知波形独立设计模式。一体化波形设计能够实现通信与感知功能的融合，共享频谱资源，降低硬件成本，提升资源利用效率。合适的一体化波形设计直接决定ISAC系统的通信与感知性能，是推动ISAC技术发展的核心要素之一^[12-14]。

2022年12月，网络通信与安全紫金山实验室联合东南大学设计出一种通信感知一体化系统及系统中

应用的波形设计方法(CN 202211553853.9)。该方法通过系统与波形的协同设计生成ISAC合成信号，基于该合成信号实现了通信和感知的信号波形时频复用工作方式，即通信和感知信号达成“同时不同频，同频不同时”的状态，在保证通信和感知高性能的同时，能够充分利用传统通信与感知信号的特性，显著提高感知与通信的实时性和频谱利用率，改善感知与通信基带信号的性能指标，降低数字信号处理难度，并且使感知与通信信号之间的相互干扰减小。这种设计保证了通信感知一体化合成波形的相参性，结合系统方案，通信和感知接收链路利用相参混频消除多普勒效应和载波频率偏移的影响，实现了射频前端系统和空间信道附加相位噪声的抵消，提高了基带输出信号的信噪比。网络通信与安全紫金山实验室试验场中，6G基站通过ISAC技术实现无人机高精度定位，水平定位误差 $<0.5\text{ m}$ ，高度误差仅 0.3 m 。该案例验证了高频段下通信与感知性能平衡的可行性。中国移动实测数据显示，4.9 GHz频段感知半径扩展至1 km以上，单基站覆盖 3 km^2 空域，但毫米波频段在百米范围内需要通过动态帧结构设计解决信号衰减问题。

2023年10月，四川大学设计了一种基于多目标粒子群算法的通信感知一体化波形设计方法(CN 202311316013.5)，该方法以偏置正交幅度调制-正交频分复用(offset quadrature amplitude modulation-orthogonal frequency division multiplexing, OQAM-OFDM)通信感知一体化波形子载波权重系数为优化变量，通信系统波形参数设计的优化准则是最大化所有子载波通信输出信噪比之和，感知系统波形参数设计的优化准则是最大化所有距离分辨单元感知输出信噪比之和，基于此构建波形参数设计的多目标优化问题，利用多目标粒子群算法对波形参数设计的多目标优化问题进行求解，得到若干使通信输出信噪比、感知输出信噪比同时最大的子载波权重系数的非支

配解,并将非支配解称为帕累托(Pareto)前沿。这样设计的一体化波形可以在不使用循环前缀和空白保护间隔的前提下有效抵抗多径干扰,获得较高的资源利用效率,提升了ISAC性能,即能够使ISAC系统中的感知性能、通信性能二者同时达到最优。

2024年12月,北京大学提出了一种多模态信息辅助的信道自适应高频双功能波形设计方法(CN 202411866656.1),其创新点在于通过构建复值波束斜视自适应预编码网络模型跨阶段局部网络(cross stage partial network, CSPNet),输入复值通感信道多模态数据(如信道状态信息、目标特征等),训练模型实现高频系统ISAC波形的优化设计。该方法解决了高频段下通信与感知性能难以兼顾的技术难题,通过多模态信息融合降低了混合预编码的计算复杂度,显著提升了系统对噪声的鲁棒性,为高频ISAC提供了新的设计范式。

2025年3月,北京交通大学设计了一种面向车联网的通信感知一体化波形设计方法(CN 202510158170.0),通过最小化多用户干扰权重和、设计波形与参考波形相似度及克拉美罗界(Cramér-Rao bound, CRB),所设计的ISAC波形在实现峰值性能的同时增强了感知能力,并确保通信的高效性。ISAC波形具有良好的通信和目标检测能力,可以提高车联网(vehicle to everything, V2X)频谱利用率,更好地适应V2X高动态的场景,减少通信与感知相互干扰。

围绕ISAC波形设计的专利申请中,涉及基于优化算法、多模态、AI技术等多种设计方法,通过最小化多用户干扰权重和、设计波形与参考波形相似度等构建优化模型,利用交替方向乘子法等求解,采用交替优化算法权衡多目标,有效克服了通信与感知性能难以同时兼顾、感知距离有限、多用户干扰、系统安全性不足等问题。所设计的一体化波形能够提升频谱利用率、能效

率,实现通信与感知灵活权衡,适应高动态的应用场景,并提高信噪比、增强安全性,推动ISAC技术向实用化、高效化方向发展。未来,ISAC波形设计将朝着多场景深度适配、智能化设计的方向发展,用于提升波形在复杂环境下的适应性,利用AI实现动态智能优化,解决跨系统兼容性、特殊场景下的波形优化问题,以满足6G通信多样化的需求。

2.2 干扰与资源管理

在6G ISAC领域,干扰与资源管理旨在协调通信和感知功能间的相互干扰,高效分配时间、频率、功率等资源,保障通信的稳定性与感知的准确性,同时提高资源利用率,避免资源浪费。干扰与资源管理相关技术是推动6G ISAC技术从理论走向实践的关键支撑^[15-16]。

2021年12月,清华大学提出了一种通信感知一体化网络干扰协调方法(CN 202111572636.X),通过基于感知系统和通信系统参数信息、当前共享频谱对应的收发位置以及预设的电磁地图得到的收发位置对应的信道信息,对感知系统和通信系统的发射功率进行联合分配,这使得感知系统和通信系统仅需要低频交互少量信息,有效降低了感知系统和通信系统之间的干扰,保证了ISAC网络的实用性。

2022年9月,高通公司提供了一种集成感测和通信系统中的感测-通信冲突的处理方法(PCT/CN2022/118281,公开号WO2024050855A1),旨在通过无线设备来处理ISAC系统中的感测与通信冲突,以改进ISAC系统性能。感测信号或反射的感测信号可能对通信信号的接收产生干扰,且通信信号也可能对感测操作造成干扰,可通过相位连续性重置指示来改变周期性感测信号的发射波束,或通过感测信号取消指示,调整感测信号的发射时机和次数,以此维持感测操作的准确性。

2024年7月,重庆邮电大学设计了一种基



于 ISAC 的车联网协同感知资源分配方法 (CN 202410988773.9)，其技术原理在于通过相对位置多层协同感知关键区域设计，减少传输数据量，并结合时分动态帧结构 ISAC 通信，优化感知与计算时间分配。该方法突破了传统 V2X 中协同感知资源利用率低、系统时延高的瓶颈，通过动态资源分配实现了通信与感知性能的平衡，为车联网 ISAC 提供了高效的资源管理方案。

2024 年 11 月，厦门大学提出了一种基于干扰利用的通信感知一体化资源分配方法 (CN 202411575829.4)，通过构建车辆感知估计模型、干扰利用下的 ISAC 车联网下行传输模型、干扰利用下的 ISAC 车辆间的干扰利用模型，计算通信模式和感知模式下的车辆接收信号信噪比，并基于预测的车辆信息和可达通信速率，计算系统的吞吐量，构建以最大化系统吞吐量为目标的资源分配优化问题，最后采用优化方法生成 ISAC 资源分配策略。该方法通过有效利用建设性的干扰资源，实现了较小发射功率通信链路间的资源共享，提高了通信系统吞吐量与资源利用率，从而保证了通信资源分配的合理性。

本文通过分析 6G ISAC 领域中干扰与资源管理相关的专利申请，发现干扰与资源管理技术已从独立解决问题转变为更专注于二者联合优化，即从单纯的干扰消除，以及功率（如维沃移动通信有限公司提出的 ISAC 功率分配方案 WO 2023169562A1）、频谱、时间等资源的高效分配，拓展至干扰与资源分配的联合优化，有效解决了通信与感知系统间存在的干扰冲突、资源分配不合理以及系统计算复杂度高等问题，实现了提升功率分配质量、优化通信吞吐量与能量利用率、降低功耗等效果，满足了不同场景下的多样化业务需求。未来，6G ISAC 领域中干扰与资源管理的研究将聚焦于智能化协同与跨域融合方向，探索 AI 与资源管理的深度结合，以此实现多域资源的智能动态调配，研究将侧重于平衡多目标优化中的性能冲

突，适配硬件资源，并推动资源管理标准化，以增强系统的兼容性。

2.3 波束成形

波束成形技术通过对发射或接收信号的相位、幅度进行精准调控，能够将能量集中于特定方向，它是保障 6G ISAC 系统在复杂环境中稳定运行的核心手段。具体而言，该技术具有两方面重要作用：一方面，它能提升通信链路的质量与容量，减少信号传输损耗，进而提高通信的可靠性与效率；另一方面，它可提高感知功能的精度，实现对目标的高分辨率检测与定位^[17-18]。

2019 年 9 月，北京邮电大学设计了一种阵列天线、波束成形方法及感知和通信一体化系统 (CN 201910874924.7)，系统中的无人机通过感知波束完成感知过程，通过通信波束完成通信过程，通过 ISAC 阵列天线的感知子阵列产生三维感知波束来实现 ISAC 系统的感知功能，通过 ISAC 阵列天线的通信子阵列产生二维通信波束来实现 ISAC 系统的通信功能。该系统在无人机领域三维感知探测的应用场景中，实现了无人机感知范围的扩展。

2022 年 4 月，北京理工大学提出了一种基于 CRB 的通感融合混合波束成形方法 (CN 202210449241.9)，采用更能直观反映感知估计性能的 CRB 作为指标，在基站满足服务用户通信需求的条件下，最小化目标到达方向 (direction of arrival, DOA) 估计的 CRB，从而提升了 ISAC 系统波束的感知性能。此外，在多用户多输入单输出 (multi-user multiple-input single-output, MU-MISO) ISAC 系统中，发射机采用部分连接方式来形成混合模拟数字 (hybrid analog-digital, HAD) 波束，降低了硬件的复杂度和成本。同时，通过联合设计来优化 MU-MISO ISAC 系统通信与感知共用波束的模拟和数字波束形成器，在保证用户与基站通信的前提下，能够降低混合波束成形的复杂度。

2023 年 11 月，北京科技大学提出了一种应

用于无人机ISAC网络中的联合波束成形设计方法(CN 202311564934.3),采用更适合实际搜索任务的两个感知指标(探测扇区匹配的均方误差(mean-square error, MSE)指标和扇区中心方向之间信道冲激响应的MSE指标)来衡量ISAC系统。与传统通信波束成形方法相比,该方法具有更高的优化变量自由度,并引入了新型的传感前置编码器,使得系统感知性能更好,在满足功率约束和通信性能要求的情况下,验证了联合发射波束成形在无人机ISAC网络中的有效性。

2024年11月,重庆邮电大学设计了一种基于图神经网络的智能反射面辅助车辆ISAC联合波束成形方法(CN 202411653404.0),解决了智能反射面辅助的车联网ISAC系统中无源波束成形和有源波束成形联合设计的问题。该方法采用基于图神经网络的波束成形架构捕获车辆、基站和智能反射面三者之间的交互,此过程忽略车辆数量对网络的影响,以增强网络的适用性和鲁棒性,同时考虑车联网应用场景中多输入多输出技术和多普勒频移的特性,对通信与目标感知进行联合波束成形的优化,提升了车联网ISAC系统的整体性能,增强了系统的可靠性和适应性。

波束成形技术是6G ISAC技术发展以来业界一直致力于创新的技术分支。近年来,6G ISAC相关专利申请实现了波束的精准设计与调控,有效攻克了通信与感知业务差异化需求矛盾、信道不确定性等问题,不仅提升了网络传输性能、系统吞吐量,保障了通信速率,还增强了感知精度与系统鲁棒性。未来,6G ISAC波束成形研究将更关注智能化、融合化、高效化,继续探索AI与波束成形的深度融合,以实现动态实时优化。此外,研究将进一步提升复杂动态场景下的波束跟踪与优化能力,降低算法的复杂度,以适配终端设备的性能,以及在多目标、多约束条件下实现通信与感知性能的最优平衡。

2.4 RIS辅助

RIS由大量低成本电子元件和微型天线构成的表面组成,通过智能调控单元对元件的电磁响应进行动态配置,实现对电磁波传播路径、相位、幅度和极化状态的灵活操控,从而有效改善无线信道质量。具体表现为:通过构建虚拟视距链路来扩大信号覆盖范围,利用电磁环境重构能力提升定位系统精度,借助多径效应协同增强数据传输速率,通过物理层安全机制抵御窃听风险。作为6G网络的核心使能技术,RIS在提升频谱效率、降低系统能耗、优化资源分配等方面展现出巨大潜力^[19-20]。

2022年11月,北京理工大学设计了一种太赫兹超大规模智能超表面辅助的通信定位一体化方法(CN 202211383423.7),基于RIS辅助,借助正交匹配追踪算法进行信道估计,其估计结果为定位提供初始条件,再以定位成果优化字典,实现信道估计与定位的双向增益;通过拓展该算法,迭代时同时选取多原子以降低混合场字典的相关性,并结合极坐标域频率依赖字典来应对波束偏移;针对智能超表面的不同工作状态,分别采用极坐标域梯度下降算法与分层字典策略,有效实现用户定位。该方法适用于车联网、智能工厂、智慧城市等应用场景,能够实现通信与定位的高效融合。

2023年4月,郑州大学、嵩山实验室、郑州大学产业技术研究院有限公司联合提出了一种基于时延对齐调制(delay alignment modulation, DAM)和有源RIS的太赫兹ISAC系统设计方法(CN 202310393233.1),构建了有源RIS辅助的太赫兹ISAC系统,使用有源RIS和DAM为单天线用户和静态目标提供服务,通过优化有源RIS的反射系数和分布式全数字波束成形(distributed full digital beamforming, DFBS)的发射波束成形向量,使太赫兹ISAC系统利用RIS与DAM的优越性,在保证通信质量的同时提升感知性能。



2024年9月，南京邮电大学提出了一种基于RIS辅助无人机的通感一体系统和方法(CN 202411313502.X)，将无人机网络和RIS应用到ISAC系统以实现辅助功能，采用交替迭代优化方法进行资源调度决策，可提供额外信道增益，提高通感资源分配的效率，同时采用基于深度强化学习的智能体训练方法，扩大ISAC网络覆盖范围，在保证用户的通信速率、感知目标的感知速率以及通信感知平衡的前提下，提高ISAC网络整体的通信与感知速率。

对于基于RIS辅助的ISAC技术，近年来的相关专利申请充分体现了产学研的紧密合作，该技术通过引入RIS降低信道估计的计算开销，采用深度强化学习算法联合优化基站发射波束与RIS系数矩阵，降低信道估计复杂度，实现资源合理配置。由于RIS的拓扑结构对ISAC系统性能影响显著，且ISAC系统所处的环境复杂多变，因此，具备全双工能力的RIS辅助技术，以及AI与RIS的深度融合，成为基于RIS辅助的ISAC相关技术近期的主要研究方向。其中，AI与RIS的深度融合有望成为6G ISAC技术的重要方向。具体的技术路径包括两方面：基于深度学习的RIS相位动态调控，通过实时感知环境变化，自动优化反射系数，从而提升信道质量；联合优化基站发射波束与RIS系数矩阵，利用强化学习实现资源的智能分配。然而，该方向面临两大挑战：一是RIS拓扑结构对系统性能的影响需要进一步量化；二是复杂电磁环境下AI模型的实时性与鲁棒性有待验证。

2.5 AI辅助

AI技术已成为6G ISAC系统突破技术瓶颈的核心驱动力。在应用场景方面，一方面，基于实数形式的信道矩阵，随机生成用户数据并收集信道状态信息(channel state information, CSI)作为数据集，用于训练ISAC混合波束成形神经网络模型，通过基于深度学习的混合波束成形方法，联合设计数字和模拟波束成形矩阵，能在提

升通信速率与感知估计速率的同时，降低推理阶段的时间复杂度(CN 202410178636.9)；另一方面，利用神经网络对复杂的交互情况进行建模并实时作出判断，结合联邦学习、深度神经网络和强化学习，实现6G中基于深度学习的ISAC资源分配算法，可提高感测精度、降低时延并提升频谱效率(IN 202521025662)。

然而，AI技术在实现层面仍面临泛化能力差、模型可解释性差、计算开销高以及数据标注成本高等挑战。因此，未来发展需要重点突破3个方向：开发自监督学习框架以减少标注依赖、建立可解释AI评估体系、研制专用AI芯片(如存算一体架构)。

以上这些研究进展既验证了AI在波形设计、资源分配等环节的潜在优势，也揭示了当前存在的一些制约因素，为构建智能化的6G ISAC网络提供了清晰的技术演进路径。

3 结束语

近年来，6G ISAC技术发展迅速，已从技术萌芽期步入快速发展期，处于从理论研究迈向实际应用的关键时期。中国在该领域表现突出，是最大的技术来源国与目标市场国，专利申请数量优势显著，成为技术创新的领军者。从创新主体看，高校和科研机构专注基础研究，探索底层理论，提出创新算法与架构；终端设备企业与运营商关注产品实现与商业化应用。本文从专利视角系统梳理了6G ISAC技术的发展脉络，其理论贡献在于揭示了波形设计、波束成形等关键技术分支的创新路径，为学术研究提供了技术演化的量化依据；在实践意义方面，通过分析中国主导的专利布局格局，为政府制定6G技术标准、优化知识产权政策提供了参考，同时为企业战略决策(如终端设备集成感知功能、运营商网络优化)指明了方向。未来，需要进一步强化产学研协同，推动技术从实验室走向规模化应用。

参考文献:

- [1] Wu Q, Zhang S, Zhang R, et al. Integrated sensing and communication for 6G: a joint design perspective [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2023, 22(5): 3210-3225.
- [2] Li X, Chen H, Wang J, et al. Intelligent reflecting surface aided ISAC in 6G: principles, challenges, and opportunities [J]. IEEE Communications Magazine, 2022, 60(8): 78-84.
- [3] Ma X, Zhang Y, Wang L, et al. Joint beamforming and sensing design for 6G ISAC systems: a survey [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2023, 72(3): 2890-2905.
- [4] Liu R Q, Zhang L Y, Li R Y, et al. The ITU vision and framework for 6G: scenarios, capabilities, and enablers[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2025, 20(2): 114-122.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书[R]. 2021.
- [6] IMT-2030(6G)推进组. 通感一体网络架构设计及关键技术研究报告[R]. 2025.
- [7] 尹浩, 黄宇红, 韩林丛, 等. 6G通信-感知-计算融合网络的思考[J]. 中国科学(信息科学), 2023, 53(9): 1838-1842.
- Yin H, Huang Y H, Han L C, et al. Thoughts on 6G integrated communication, sensing and computing networks[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2023, 53(9): 1838-1842.
- [8] 闫实, 彭木根, 王文博. 通信-感知-计算融合: 6G愿景与关键技术[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(4): 1-11.
- Yan S, Peng M G, Wang W B. Integration of communication, sensing and computing: the vision and key technologies of 6G[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021, 44(4): 1-11.
- [9] 林方宇, 朱辰, 甘旭, 等. RIS辅助毫米波通感一体化关键技术与研究进展[J]. 无线电通信技术, 2024, 50(2): 312-327.
- Lin F Y, Zhu C, Gan X, et al. Key technologies and research progress of RIS-assisted millimeter wave integrated sensing and communication[J]. Radio Communications Technology, 2024, 50(2): 312-327.
- [10] 马玉芳, 马天舒, 陈雅婷, 等. 基于专利数据的全球6G天线关键技术创新态势与我国发展对策研究[J]. 中国发明与专利, 2024, 21(12): 35-43.
- Ma Y F, Ma T S, Chen Y T, et al. Research on the innovation trends of key technologies for global 6G antennas based on patent data and development strategies in China[J]. China Invention & Patent, 2024, 21(12): 35-43.
- [11] 马玉芳. 基于专利分析的面向6G智能超表面技术发展研究[J]. 无线电通信技术, 2025, 51(1): 139-148.
- Ma Y F. Research on the development of 6G reconfigurable intelligent surface technology based on patent analysis[J]. Radio Communications Technology, 2025, 51(1): 139-148.
- [12] Zhang J, Guo S, Gong S, et al. Intelligent waveform design for integrated sensing and communication[J]. IEEE Wireless Communications, 2025, 32(1): 166-173.
- [13] Hu Y, Wang C, Gao F, et al. Channel estimation and fusion for 6G ISAC: from theory to practice[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2022, 40(12): 3456-3472.
- [14] Sun D, Zhang L, Wang K, et al. Security in 6G ISAC: threats, countermeasures, and open issues[J]. IEEE Network, 2023, 37(4): 142-150.
- [15] Pan C, Zhou M, Wu Q, et al. Experimental demonstration of 6G ISAC using reconfigurable intelligent surfaces[J]. IEEE Transactions on Communications, 2022, 70(9): 6230-6243.
- [16] Liu Z, Fan P, Zhang R, et al. mmWave ISAC for 6G: beam management and interference mitigation[C]//Proceedings of 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-6.
- [17] Wang H, Chen X, Li D, et al. AI-enabled ISAC in 6G: architecture, algorithms, and challenges[J]. IEEE Wireless Communications, 2023, 30(2): 86-93.
- [18] Zhang T, Yuan D, Zheng B, et al. Standardization progress of 6G ISAC: from IMT-2030 to beyond[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2024, 8(1): 42-49.
- [19] Chepuri S P, Shlezinger N, Liu F, et al. Integrated sensing and communications with reconfigurable intelligent surfaces: from signal modeling to processing[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2023, 40(6): 41-62.
- [20] Rihan M, Zappone A, Buzzi S, et al. Passive versus active reconfigurable intelligent surfaces for integrated sensing and communication: challenges and opportunities[J]. IEEE Network, 2024, 38(3): 218-226.

[作者简介]



于晓溪 (1985-), 女, 国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心助理研究员、四级审查员, 主要研究方向为通信领域专利审查。



章嘉懿 (1986-), 男, 北京交通大学电子信息工程学院教授、博士生导师, 主要研究方向为多天线传输理论与方法。