

太赫兹通信专题简介

韩充^{1*}, 朱敏², 陈智³, 余建军⁴, Josep M. JORNET⁵,
Wolfgang H. GERSTACKER⁶

1. 上海交通大学, 上海 200240

2. 东南大学, 南京 210096

3. 电子科技大学, 成都 611731

4. 复旦大学, 上海 200433

5. Northeastern University, Boston MA 02115, USA

6. Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg, Erlangen D-91058, Germany

* 通信作者. E-mail: chong.han@sjtu.edu.cn

太赫兹通信作为未来 6G 乃至后 6G 时代的关键技术之一, 因其巨大的连续频谱资源可支持数百 Gb/s 至 Tb/s 级的数据传输能力, 正在受到学术界和产业界的广泛关注和研究. 相比微波和毫米波频段, 太赫兹频段能够提供数量级提升的带宽以满足超高速率通信需求, 同时具有更好的方向性和保密性, 有望支撑天地一体化的无缝互联. 然而, 太赫兹通信也面临着器件效率低、自由空间传输损耗大、信道特性复杂等挑战, 需要在新型器件、系统架构、信道建模、通信协议、安全机制等方面进行深入研究与创新突破. *SCIENCE CHINA Information Sciences* 在 2025 年 68 卷第 12 期出版了“太赫兹通信专题”(Special Topic: Terahertz Communications for 6G and Beyond: How Far Are We?). 专题紧扣太赫兹通信这一前沿领域, 收录了 10 篇最新研究论文, 内容涵盖从太赫兹器件与收发机、通信系统架构、信道传播建模、通信协议与算法、安全保密机制到空天地一体化应用等多个方面的研究进展, 充分展现了太赫兹通信领域的最新成果和发展趋势.

为了推动太赫兹通信关键技术的研究与发展, 综述“Large-capacity long-distance photonics-aided

terahertz wireless communication system: key techniques and experimental demonstration”介绍了一种光子辅助的太赫兹超高速通信架构. 通过融合多维复用、星座整形、非线性补偿等技术, 结合高增益透镜天线和放大器, 实现了光纤 – 太赫兹 – 光纤无缝互联. 在 110~500 GHz 频段达到 1 Tbps 传输速率, 并在 200~850 m 距离上验证了百 Gbps 级链路能力.

围绕太赫兹航空航天通信的关键挑战, 综述“Terahertz aerospace communications: enabling technologies and future directions”系统梳理了不同高度场景下的太赫兹传播特性, 评估了超大规模 MIMO 架构、通感一体化、资源调度等技术在空地通信中的应用前景. 文中还讨论了波束对准机制、低功耗芯片负载限制、轨道扰动等现实因素, 并提出了未来系统设计可通过轻量化混合波束赋形、简化的一体化方案等策略进一步提高性能, 为构建宽带天地一体通信网络提供理论支撑与发展路径.

为了提升空间太赫兹信息网络的接入性能, 论文“Adaptive MAC for space terahertz information network: modeling and performance optimization”

引用格式: 韩充, 朱敏, 陈智, 等. 太赫兹通信专题简介. 中国科学: 信息科学, 2025, 55: 3129–3130, doi: 10.1360/SSI-2025-0514

Han C, Zhu M, Chen Z, et al. Special topic: terahertz communications for 6G and beyond: how far are we? *Sci Sin Inform*, 2025, 55: 3129–3130, doi: 10.1360/SSI-2025-0514

提出了一种自适应 MAC 方案. 该方案通过跨层优化动态调整波束宽度和时隙分配, 并根据流量和信道条件选择握手和访问机制. 文中分析揭示了太赫兹特性对 MAC 的影响, 并提出了优化策略以提升吞吐率. 仿真结果表明, 该方案在 GEO-LEO 卫星场景链路波动条件下可实现最高 27% 的吞吐量提升, 验证了其应用潜力.

针对太赫兹波在粗糙介质表面传播建模问题, 论文 “A modeling method for terahertz scattering on rough dielectric surfaces based on deep learning and physical optics approximation” 提出了一种结合物理光学与深度学习的建模方法. 该方法利用神经网络预测等效电磁流, 再借助光学近似恢复散射场分布, 在仿真精度与建模效率之间取得平衡, 适用于复杂环境下的太赫兹信道仿真.

在高频高速收发机设计方面, 论文 “A 285–310 GHz four-channel transceiver with 22.6 dBm EIRP supporting 64QAM modulation in 130-nm SiGe process” 开发了一款工作于 285~310 GHz 的四通道 SiGe 收发器. 该芯片采用后混频结构、片上天线及相干功率合成技术, 在 302 GHz 下实现 22.6 dBm EIRP 输出, 支持 64QAM 调制传输, 验证了高性能太赫兹通信芯片在毫米波以上频段的可行性.

面向 6G 系统的高速收发集成方案, 论文 “330 GHz antistatic compact vertical interconnect IQ transceiver for 6G communication” 设计了一种垂直互联 IQ 收发器, 具备紧凑结构和抗静电能力. 芯片集成发射器、接收器与混频器, 单边带接收损耗低至 8 dB, 镜像抑制超过 18 dB, 实验完成了 16QAM 下 40 Gbps 传输, 展现了其在短距太赫兹通信中的实用潜力.

关于太赫兹近场通感一体化系统的研究进展, 论文 “Joint localization and channel estimation for

terahertz near-field ISAC UM-MIMO systems” 基于太赫兹超大规模 MIMO 系统提出了一种联合上行定位与信道估计方案. 该方法首先通过 DFT 波束组合器初步估计视距径角度, 再通过动态区间收缩算法迭代优化角度与距离参数, 实现低复杂度、高精度的定位. 进一步设计了结合视距径先验的 CSI 估计方法, 采用子空间正交解码器与极坐标自适应码本, 有效提升信道恢复性能, 仿真验证了所提方案的准确性与效率.

针对太赫兹收发机中的非线性行为建模问题, 快报 “Nonlinear behaviors of transceivers for terahertz communications: data sets and models” 构建了覆盖多个频段的大规模数据集, 并提出了融合多尺度卷积与注意力机制的建模方法, 能够跨频段精确表征放大器非线性特性, 为 DPD 算法设计与太赫兹链路仿真提供了重要支持.

为增强太赫兹系统的物理层抗窃听能力, 快报 “Frequency-switching array based null-steering beamforming for physical-layer security in terahertz bands” 提出了一种基于频率切换阵列的波束赋形方案. 该结构结合频率分集与阵列置零优势, 在任意用户与窃听器位置关系下均可形成方向性零陷, 突破传统方案在特定空间条件下的失效问题.

为了提升太赫兹 MIMO 系统在干扰抑制与信道复用方面的能力, 快报 “Exploiting polarization isolation for high diversity gain in a THz MIMO system” 构建了 330 GHz 光子辅助双极化 MIMO 架构, 采用稳定的偏振复用与最大比合并技术, 在 5 m 链路上实现 60 Gbps QPSK 传输, 相较单通道获得约 2.2 dB SNR 增益, 验证了偏振隔离在提升链路可靠性方面的优势.

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