

多频段协同通信专题导读



专题策划人 >>>



李少谦，电子科技大学教授、博士生导师，IEEE Fellow，通信抗干扰技术国家级重点实验室主任，国家新一代宽带无线移动通信网重大专项总体组成员，国家“863”计划5G重大项目总体组成员，国家“973”计划咨询专家组成员，国务院政府特殊津贴获得者；

主要研究方向为无线与移动通信技术；主持完成了30余项国家级科研项目，获国家、国防和省部级科技奖8次；获授权专利70余项，发表论文200余篇，出版专著多部。



唐雄燕，中国联通研究院副院长、首席科学家，“新世纪百千万人才工程”国家级人选，北京邮电大学兼职教授、博士生导师，工业和信息化部通信科技委委员兼传送与接入专家咨询组副组长，中国通信学会理事兼信息

通信网络技术委员会副主任，中国光学工程学会常务理事兼光通信与信息网络专家委员会主任，开放网络基金会（ONF）董事；长期从事通信新技术研发和管理，主要专业领域为宽带通信、光纤传输、互联网/物联网、新一代网络等。



向际鹰，中兴通讯股份有限公司首席科学家；先后从事无线3G、4G、5G、B5G和6G相关研发工作，研究领域包括基带、射频、软件、集成电路等；所提出和推动的SDR、Cloud Radio、局部动态Mesh、Pre-5G、矢量处理器基带芯片平台等先后创造了数千亿产值；获国家科技进步奖特等奖1项、二等奖及技术发明奖3项，获得中国通信产业技术贡献人物、中华杰出工程师等称号；发表论文多篇，申请专利多项。

通信的本质是把各种资源（频谱、时间、空间等）转换为能力（容量、延迟、连接数、可靠性等），因此，为了提升通信能力，我们不仅要利用更多的资源，还要实现这些资源的高效利用。本期专题为“多频段协同通信”，旨在探讨频谱资源的挖掘与利用技术。当前单一的频谱资源已经无法满足5G时代的速率需求，因此我们一方面需要寻找新的频谱资源，另一方面应充分挖掘可用频谱的潜力，实现多个频谱的协同通信。国际移动通信（IMT）2020和IMT 2030推进组均将多频段接入和协同通信技术列为5G、6G的重要核心技术。

按照频率或波长划分，多频谱不仅包含5G中已使用的

Sub-6 GHz低频段和毫米波（mmW）频段，还包括6G中正在研究的太赫兹（THz）频段，甚至红外、可见光波段；根据授权状态，多频谱可分为授权频谱与非授权频谱；按照双工类型划分，多频谱可分为对称与非对称以及频分双工、时分双工、灵活双工、部分全双工、全双工等；根据带宽性质的不同，多频谱分为连续频谱和离散频谱。

本期专题探讨了多频段协同通信的特性、应用场景、关键技术等，其中重点讨论了以往研究中比较缺失的技术方向，例如新频谱技术（THz、红外、可见光）、非授权频谱利用及其与授权频谱的协同方式、新的双工方式、离散频谱利用技术，以及其他多频段的协同通信——包括但不限于载波聚合（CA）/双连接（DC）/动态频谱共享（DSS）动态频谱共享等。

在频谱资源有限的情况下，多种频段之间的高效协同就

显得尤为重要。《5G 高低频组网协同机制与策略》提出了一种综合考虑业务需求、用户体验、终端能力、空口能力、网络状态的协同机制。该机制利用智能化手段预测多层目标网络的用户体验预期，实现用户与网络的最优匹配。

非授权频谱可以免费使用，但 IMT 长期以来缺失对非授权频谱利用，而电气和电子工程师协会（IEEE）WiFi 则重点关注非授权频谱。《5G 与 WiFi6 的协同组网方案设计及应用》从多视角分析了两者的协同组网的必要性和可行性，提出了优化后的 5G 与 WiFi6 协同组网系统架构，设计了关键网元的软件架构和网络增强功能机制，并通过专网试点完成了组网方案的应用验证，旨在为产业界的 5G 与 WiFi6 协同组网方案规划和部署建设提供技术参考。

随着低端频谱资源的逐渐耗尽，未来移动通信必然走向更高的频段，因此毫米波与太赫兹都将得到应用。《多频段协同通信的新机遇——太赫兹通信感知一体化》提出面向 THz 通感一体化的多频段协同技术，可以通过感知协同和通信协同来提升 THz 通信性能。此外，文章还通过两个典型实例给出了面向 THz 通感一体化的多频段协同关键技术和挑战。

比太赫兹更高的频段是红外和可见光，它们也被认为是 6G 通信中的重要一环，具有高信道容量、低电磁辐射、高保密性等优势。然而，高速发光二极管（LED）可见光通信系统受限于调制带宽与高功率下的非线性。对此，《可见光通信星座整形与人工智能解调技术》提出了一种基于贪婪算法的几何整形编码方式，并使用一个 3 层隐藏层的深度神经网络（DNN）作为接收端的解码器，使系统的传输速率得到提升，且能够承受更大的信号峰峰电压和偏置电流。该技术是未来可见光通信中一项很有潜力和前景的技术。

《面向 6G 的多频段智能融合组网》从网络架构层次探讨新的网络架构适配多频段融合的方法，并提出了一种新的面向 6G 的多频段智能融合模型——Meta-cell 元小区+Stack-free 非栈式用户面，以支持高中低任意频段资源的智能编排组合，从而按需满足组网目标。Meta-cell 元小区和 Stack-free 非栈式用户面通过在组件化、解耦、池化和虚拟化的基础上叠加智能化可编排可配置，克服了现有多频段组网技术不够灵活高效的问题，有助于赋能 6G 丰富多样的业务和组网场景。

未来 6G 业务对覆盖能力提出了全面的需求。《面向 6G 全场景的多频段协同覆盖扩展技术》探究了多频段协同使能的全场景覆盖扩展技术，包括多频段协同组网、多频段协同感知与多频段智能共享。

《双智协同网络：理念与技术》提出了一种多频多制式移动网络中基于双层智能化互操作的新型协同方案，以满足网络发展不同阶段及不同场景下的多目标优化要求。网络不同阶段用户级智能与网络级智能相结合形成的双智矩阵，可实现商用网络下差异化业务体验的精准满足，最大化网络总体收益。

本期专题较为全面地反映了频谱高效组合利用技术创新的最新成果。在此，对各位作者的大力支持和精心撰稿表示衷心感谢！希望本专题在多频段协同通信的标准化和技术实现方面起到重要参考和积极推动作用。

李少谦 唐雄燕 向际鹰

2022 年 7 月 15 日