

6G:跨频段协同通信



6G:Collaborative Communication Across Multiple Frequencies

王海明/WANG Haiming^{1,2}, 陈祎祎/CHEN Yiyi²

(1. 东南大学, 中国 南京 210096;

2. 网络通信与安全紫金山实验室, 中国 南京 211111)

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Purple Mountain Laboratories, Nanjing 211111, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202204009

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220722.1448.002.html>

网络出版日期: 2022-07-25

收稿日期: 2022-06-05

摘要: 在5G时代, 移动通信首次引入毫米波。在频谱资源有限的条件下, 跨频段协同无线组网的概念被提出。6G将面临更大的网络容量和更高的传输速率挑战, 因此需要高效利用全频谱资源来满足不同的应用需求。以毫米波为代表的高频频率资源丰富, 而以6 GHz以下的频率容易实现有效覆盖。高低频紧密结合的跨频段协同无线通信(COCAMF)应运而生。这种结合能够充分发挥高低频的优势。但是, 高低频之间存在电波传播特性、射频(RF)前端性能等差异性, 这使得COCAMF面临诸多挑战。认为需要充分探究COCAMF所面临的信道模型、射频前端、无线传输和无线组网技术方案等方面的难题, 以推动6G COCAMF系统标准化和产品研发进程。

关键词: 6G; 频谱资源; 跨频段; 协同无线通信

Abstract: The millimeter-wave band was firstly introduced into the mobile communication system in the 5G era. And the wireless networking across multiple frequency bands was proposed in the case of limited frequency spectrum resources. A larger network capacity and a higher transmission rate are required for the 6G that demands efficient usage of full spectrum resources to meet diversified application requirements. Taking millimeter-wave as an example, a lot of spectrum resources are available in the high band, while more effective coverage is feasible in the low band, e.g., Sub-6 GHz. The collaborative communication across multiple frequencies (COCAMF) is emerging to exploit their respective merits. But the COCAMF also faces heterogeneities of propagation characteristics and performances of radiofrequency (RF) fronts. Channel models, RF fronts, wireless transmission and networking, and other problems should be intensively investigated to promote standardization and product development of the COCAMF.

Keywords: 6G; spectrum resource; across multiple frequencies; collaborative communication

频谱是移动通信发展的基础资源。早在3G时代, 中国各大电信运营商就分别采用了不同的网络制式。由于当时的硬件能力受限, 人们难以将不同的网络制式融合至同一块芯片中。相较于3G, 4G支持更多的网络制式和相应的多种频段, 并催生出用户终端多模多频芯片的需求, 使用户在不同的网络覆盖区域都能享受流畅的网络体验。

随着移动互联网的快速发展和新服务、新业务的不断涌现, 此前基于Sub-6 GHz频段的4G网络将不再满足通信需求, 因此5G向毫米波频段借力, 利用毫米波实现高速率、低时延、海量连接的愿景。由于5G网络包含Sub-6 GHz频段与毫米波频段, 高低频协同通信的理念因此被提出。未来6G时代将迎来新的体系变革^[1], 向更高频段扩展。然而, 低频段仍是6G发展的战略性资源, 毫米波等高频资源也将发挥更重要的作用。跨频段协同通信能够高效利用低频和高频资源, 实现最佳的全频谱组合效益, 具有广阔的应用前景, 将在6G时代得到进一步发展。

1 跨频段协同无线通信机制

虽然毫米波频段频谱资源丰富, 但是波长较短, 在通信中存在严重的路径传播损耗和遮挡损耗问题, 实现连续覆盖的代价很高。从实际情况来看, 毫米波系统主要依托于Sub-6 GHz中低频段来部署。Sub-6 GHz和毫米波相结合的跨频段协同组网可满足5G网络对容量、覆盖、性能等的要求。其中, Sub-6 GHz频段仍是核心频段, 用于广域覆盖; 毫米波频段可作为辅助频段, 用于热点区域速率提升。

电信运营商正大力支持跨频段协同组网的规划和建设。那么如何利用高低频相互协同来提升移动通信系统传输性能成为关键。跨频段协同传输引起学术界的重视。不少研究工作对比分析了高频和低频的信道传播特性^[2]。研究表明, Sub-6 GHz频段与毫米波频段具有相似的空间特性。利用这一性质可以找到评估跨频段信道相似性的量化指标^[3], 建立跨频段信道相似性模型, 以更好地为跨频段协同通信方案的设计提供参考。同时, 基于高频和低频的关联性, 在跨频段协同组网中使用低频信息辅助毫米波波束赋形^[4], 可以

极大地减少毫米波训练开销,提升跨频段协同传输性能。

此外,终端也将同时支持Sub-6 GHz和毫米波网络。这对终端天线提出较高要求。毫米波采用多天线波束赋形技术,其天线架构与Sub-6 GHz天线架构不一致。在设计终端天线时,终端设备需要集成多组不同功能的天线,在确保不同信号覆盖需求的同时,还应保证对前几代移动通信技术的后向兼容。

面向5G标准,第3代合作伙伴计划(3GPP)不断扩展无线接入的频谱资源范围,定义了低频FR1(410~7 125 MHz)和高频FR2(24.25~52.60 GHz)两大频率范围,并对载波聚合、双连接技术、动态频谱共享技术等多频段融合技术进行持续演进和增强。当前,产业界主要关注单一频段本身的传播特性^[9]和某一频段范围内多频段融合技术的研究,对高低频相结合的跨频段协同通信研究尚且不足。相比于5G,6G需要更灵活、更高效地挖掘高频和低频的特性与优势,对频谱资源进行合理分配和灵活部署。6G需要规范化的跨频段协同通信标准协议。

2 面临的挑战与建议

虽然学术界和工业界不断推动着跨频段协同通信的发展,但是相关产业尚未完全成熟,跨频段协同通信仍面临诸多挑战。我们需要进一步探讨如何利用创新技术解决跨频段协同通信存在的多种难题。

(1) 加大高低频协同的研究力度。毫米波与Sub-6 GHz相结合大大提升了网络的复杂性和多样性。跨频段协同组网策略、跨频段协同传输方案以及终端天线的设计等有待进一步优化。此外,我们还需要聚焦于高低频协同通信原理,推动跨频段协同通信的网络部署。

(2) 提升毫米波产业链成熟度,促进高低频之间的高效融合。Sub-6 GHz产业应用已相当成熟,而毫米波产业较为薄弱。因此,我们需要完善毫米波设备功能,统一具体指标,并以此为基础保证跨频段协同组网的功能和性能,促进跨频段协同通信的产业发展。

(3) 推动跨频段协同通信相关标准的制定与落实。目前,跨频段协同通信的相关标准尚未完善,主要集中于学术界的研究内容。对此,我们应全面推动跨频段协同通信的标准进程,不仅要在理论研究上支撑标准制定,同时还要针对

标准规范确定的关键技术指标和应用场景开展关键技术攻关,通过制定相应的标准规范,切实推动跨频段通信技术的发展。

3 结束语

高低频各有优势,各有侧重,都是5G和6G系统不可或缺的组成部分,两者并非对立关系,而是互相补充、互相配合的协同关系。跨频段协同通信能够整合全频段频谱资源,有效应对未来移动通信系统的高标准、差异化需求。技术与应用的发展往往是循序渐进的,一旦技术成熟,跨频段协同通信必将迎来广阔的应用前景,赋能千行百业。

参考文献

- [1] IMT2030推进组. 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书[R]. 2021
- [2] RAPPAPORT T S, XING Y C, MACCARTNEY G R, et al. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks—with a focus on propagation models [J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2017, 65(12): 6213–6230. DOI: 10.1109/TAP.2017.2734243
- [3] YI C, ZHANG P Z, WANG H M, et al. Multipath similarity index measure across multiple frequency bands [J]. IEEE wireless communications letters, 2021, 10(8): 1677–1681. DOI: 10.1109/LWC.2021.3077259
- [4] ALI A, GONZÁLEZ-PRELCIC N, HEATH R W. Millimeter wave beam-selection using out-of-band spatial information [J]. IEEE transactions on wireless communications, 2018, 17(2): 1038–1052. DOI: 10.1109/TWC.2017.2773532
- [5] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: 3GPP TR 38.901 [S]. 2017

作者简介



王海明,东南大学信息科学与工程学院教授、国家6G技术研发总体组专家、《ZTE COMMUNICATIONS》编委;研究方向为移动通信、天线与电波传播、智能微波工程;曾获江苏省科技进步一等奖和IEEE 802.11aj标准杰出贡献奖;发表学术论文90余篇,获授权发明专利40余项。



陈祎祎,网络通信与安全紫金山实验室无线信道工程师;研究方向为无线信道测量与建模,负责相关标准化的推进与制定;发表学术论文3篇,获授权发明专利2项。