



6G 技术挑战、创新与展望

Challenges, Innovations and Perspectives Towards 6G

方敏 /FANG Min^{1,2}
段向阳 /DUAN Xiangyang^{1,2}
胡留军 /HU Liujun^{1,2}

(1. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057;
2. 移动网络与移动多媒体技术国家重点实验室,
广东 深圳 518057)

(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;
2. State Key Laboratory of Mobile Network and
Mobile Multimedia, Shenzhen 518057, China)

摘要: 梳理了全球 6G 技术研究现状, 初步预估了 6G 需求、技术与标准研究工作路标, 分析了面向 6G 网络的未来业务发展趋势和典型服务用例, 构建了 6G 网络服务愿景、基本性能需求, 以及基于架构、链路、空域、流域、推理与计算维度的 6G 使能技术框架。认为 6G 潜在使能技术包括自治自动网络、智能三维连接、智能大规模天线阵、按需网络拓扑与计算、超硅计算与通信。重点介绍了中兴通讯服务架构无线接入网络 (SBA-RAN)、平滑虚拟小区技术 (SVC)、智能反射表面多输入多输出技术 (IRS-MIMO) 与增强多用户共享接入 (eMUSA) 等 6G 创新技术实例, 揭示了 6G 相对 5G 是“演进”还是“革命”网络的决定要素是维持摩尔定律可持续发展的超硅计算技术, 并展望了 5G 演进网络中将广泛应用的 Pre6G 创新技术。

关键词: 6G; 智能无线电; 服务架构无线接入网; 三维连接; 软件定义空口; 智能反射表面; 平滑虚拟小区; 增强多用户共享接入

Abstract: The global research progress of 6G network is briefly introduced and the tentative timeline of 6G requirements, technology and standard research is illustrated. The future traffic trend and typical use cases towards 6G network are investigated preliminarily. The vision and the key performance requirements as well as the potential enablers in the architecture, link, flow, inference and computing dimensions are established towards 6G network. The 6G potential enablers including self-driving network, the intelligent 3D-connectivity, the intelligent large-scale antenna array, the on-demand network topology and computing, as well as the beyond silicon computing and communication are introduced. Some innovation instances towards 6G from ZTE Corporation are presented such as the service-based radio access network (SBA-RAN), the smooth virtual cell (SVC), the intelligent reflective metasurface multiple input multiple output (IRS-MIMO) and enhanced multi-user shared access (eMUSA). It's revealed that whether the 6G is an "evolution" or "revolution" network of 5G is mainly determined by the innovations of beyond-silicon computing which could maintain the sustainable development of Moore's law. Finally the pre6G innovation technologies that will be widely used in the evolved 5G network are forecasted.

Keywords: 6G; intelligent radio; service-based radio access network (RAN); 3D-connectivity; software-defined air interface; intelligent reflective metasurface; smooth virtual cell; enhanced multi-user shared access (eMUSA)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202003012

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200702.1418.002.html>

网络出版日期: 2020-06-24

收稿日期: 2020-04-10

6G 网络是指 2030 年将要商用的移动通信网络。1980—2020 年移动通信网络“十年一代”的发展历程, 见证了 3G 移动用户超越固定用户的“辉煌十年”, 体验了 4G 移动互联改变生活的“美好十年”, 开启了 5G 万物互联改变社会的“创新十年”。未

来“创新十年”中, 5G 商用网络将在业务与网络技术方面不断演进, 并最终向 6G 网络过渡; 因此 6G 也是 5G 长期演进网络。

1 6G 全球研究现状

随着 5G 网络成功规模商用, 全

球产学研已在 2019 年正式启动 6G 潜在服务需求、网络架构与潜在使能技术的研究工作。

1.1 欧盟

欧盟企业技术平台 NetWorld2020 在 2018 年 9 月发布了《下一代因特网

中的智能网络》白皮书。在此基础上，欧盟将在 2020 年第 3 季度制定 2021—2027 年产学研框架项目下的 6G 战略研究与创新议程（SRIA）与战略开发技术（SDA），并在 2021 年第 1 季度暨世界移动通信大会上正式成立欧盟 6G 伙伴合作项目，在 2021 年 4 月开始执行第一批 6G 智能网络服务产学研框架项目。

1.2 芬兰

芬兰政府在 2018 年 5 月率先成立了芬兰奥鲁大学牵头管理的 6G 旗舰项目，项目成员以芬兰企业、高校与研究所为主，该项目计划在 2018—2026 年投入 2.5 亿欧元用于 6G 研发。芬兰奥鲁大学每年 3 月牵头组织召开了两届 6G 无线峰会，主要厂家与运营商均发表了 6G 技术峰会演讲，并在会上与会下技术讨论基础上于 2019 年 9 月发布了《面向 6G 泛在无线智能的驱动与主要研究挑战》白皮书。

目前 6G 无线峰会正在起草 12 个技术专题的 6G 技术白皮书，最快在 2020 年下半年发布若干技术白皮书，包括 6G 驱动与联合国可持续发展目标、垂直服务验证与试验、无线通信机器学习、5G 联网、宽带连接、射频（RF）技术与频谱、偏远地区连接、6G 商务、6G 边缘计算、信任安全与隐私、6G 关键与大规模机器通信、定位与传感。

1.3 美国

美国联邦通信委员会（FCC）在 2018 年启动了 95 GHz~3 THz 频率范围的太赫兹频谱新服务研究工作，从 2019 年 6 月开始发放为期 10 年、可销售网络服务的试验频谱许可。其频谱研究的主要内容包括：

1) 95~275 GHz 频段政府与非政府共享使用；

2) 275 GHz~3 THz 不干扰现有频谱使用；

3) 非许可频谱共 21.2 GHz 带宽，包括 116~123 GHz、174.8~182 GHz、185~190 GHz、244~246 GHz。

美国电信行业解决方案联盟（ATIS）在 2020 年 5 月 19 日发布了 6G 行动倡议书，建议政府在 6G 核心技术突破上投入额外研发资金，鼓励政府与企业积极参与制定国家频谱政策。目前，美国希望主导的未来 5G 与 6G 核心技术包括 5G 集成与开放网络（ION）、支持人工智能（AI）的高级网络和服务、先进的天线与无线电系统（例如 95 GHz 以上太赫兹频段）、多接入网络服务（包括地面与非地面网络、自我感应以支持超高清定位等应用）、智能医疗保健网络服务（包括远程诊断与手术，利用多感测应用、触觉互联网和超高分辨率 3D 影像等新功能）和农业 4.0 服务（支持统一施用水、肥料和农药）。

1.4 日本与韩国

日本政府将在 2020 年夏季发布 6G 无线通信网络研究战略。韩国政府电子与电信研究所（ETRI）在 2019 年 6 月与芬兰奥鲁大学签订了 6G 网络合作研究协议；三星自 2019 年开始重点研究 6G、人工智能与机器人技术；LG 在 2019 年 1 月与韩国科学技术研究所（KAIST）合作建立了 6G 研究中心；SKT 与厂家联合研究 6G 关键性能指标与商务需求。

1.5 中国

中国工业和信息化部已将原有的 IMT-2020 推进组扩展到 IMT-2030 推进组，开展 6G 需求、愿景、关键技术与全球统一标准的可行性研究工作。中国科学技术部牵头在 2019 年 11 月启动了由 37 家产学研机构参与的 6G

技术研发推进组，开展 6G 需求、结构与使能技术的产学研合作项目。

1.6 其他

中国移动在 2019 年 11 月发布了《6G 愿景与需求》白皮书，日本 DoCoMo 在 2020 年 1 月发布了《5G 与 6G 无线技术需求》白皮书。国际电联标准化部门（ITU-T）在部分产学研机构驱动下在 2018 年成立了 6G 需求与网络结构的研究项目即 IMT-2030 焦点组，该研究项目先后发布了《6G 技术蓝图、应用与市场驱动》《6G 新服务与网络服务能力》与《代表性用例和关键网络需求》等白皮书或技术研究报告。

2 6G 研究与标准工作路标预测

未来 10 年内 ITU、中国 6G 推进组与 3GPP 的 6G 标准工作路标预测，详见图 1。相应的基本判断是：

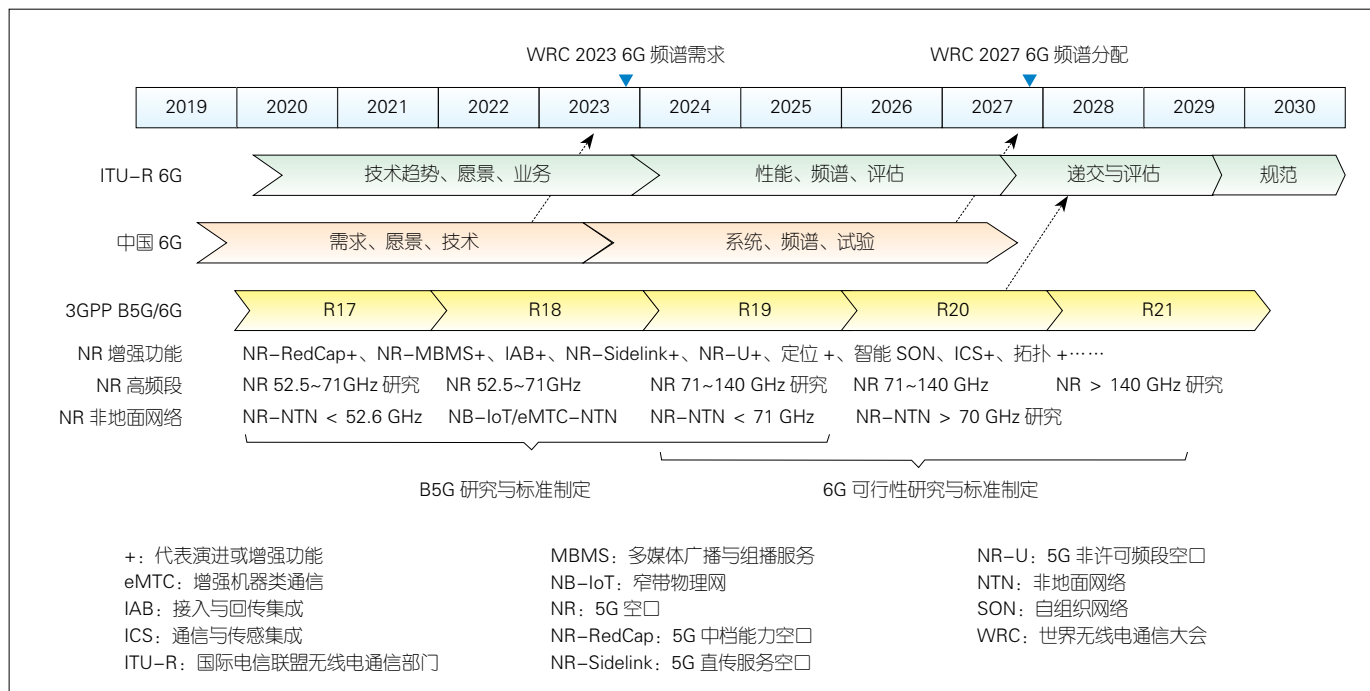
1) 2020—2023 年是 6G 业务、愿景、使能技术的可行性研究窗口；

2) 2020 年是识别 6G 使能技术的早期阶段。

国际电信联盟无线电通信部门（ITU-R）的 WP5D 工作组计划^[1-2]在 2022 年 6 月完成《IMT 未来技术趋势》研究报告，在 2021 年 6 月—2022 年 11 月完成《IMT-2020 之后愿景》研究报告。预计 2023 年底的世界无线电通信大会（WRC）将讨论 6G 频谱需求，2027 年底的 WRC 将完成 6G 频谱分配。

中国 IMT-2030 暨 6G 推进组的 6G 业务、愿景与使能技术的研究和验证，将与 ITU-R 的 6G 标准工作计划保持同步。可以预测的是，在 2023—2027 年中国将完成 6G 系统与频谱的研究、测试与系统试验。

面向 2028—2029 年 ITU 6G 标准评估窗口，3GPP 预计需要在 2024—2025 年即 R19 窗口正式启动 6G 标准需



▲图1 B5G/6G 研究与标准工作路标预测

求、结构与空口技术的可行性研究工作，并最快在 2026—2027 年即 R20 窗口完成 6G 空口标准技术规范制定工作。此前，3GPP 将在 2020—2023 年完成 R17 与 R18 的 5G 演进标准制定，此阶段可简称为后 5G 即 B5G 标准。R17/18 5G 演进标准主要功能，包括面向未来演进移动宽带、固定无线接入、工业物联网、车联网、扩展现实（XR）、大规模机器通信、无人机与卫星接入等用例的演进空口与增强功能，例如 5G 高频段空口即 NR 52.6 ~ 71 GHz、5G 非地面网络空口（NR-NTN）与其高频段 NTN、蜂窝窄带物联非地面网络（NB-IoT/eMTC-NTN）、面向可穿戴与视频监控等中档终端的 5G 中档能力空口及其演进功能（NR-RedCap+）、5G 多媒体广播与组播服务空口及其演进功能（NR-MBMS+）、接入与回传集成演进功能（IAB+）、5G 直传空口及其演进功能（NR-Sidelink+）、5G 非许可频段空口及其演进功能（NR-U+）、定位增强功能、智能自组织网络及其演进功能、

通信传感集成及其演进功能（ICS+）、网络拓扑增强功能等。

3 6G 业务驱动与愿景

用户定义视频（如抖音）上行流量的便捷消费，机器视觉计算（如人脸识别）的广泛应用，扩展现实、光场与点云等光波全息传送的潜在消费，零距离虚拟现场交互（如异地“真人”二重唱或乐队“云演奏”）的出现，灵巧可靠的数字人/机车/机器人终端集群（如自动驾驶汽车）服务，以及联合国 2030 年可持续发展目标^[1]逐步实施，都预示了人性化、全息交互、群体协作的业务发展趋势。

4G 与 5G、物联网、云边计算、AI 与机器学习（ML）^[3-5]、大数据、区块链、卫星火箭、无人机、可穿戴技术、机器人技术、可植入技术、超硅计算与通信技术的快速发展与应用，为业务创新奠定了坚实的技术基础。应用与技术的双重创新驱动，决定 5G 应用将在未来 10 年快速成长，并创造

出新的生活方式、数字经济和社会结构，例如跨阶层的数字生活、网红经济、数字贵族等。

为顺应人性化、全息交互、群体协作的业务发展趋势，6G 时代可能诞生的全新服务将进一步扩展到感知互联网、AI 服务互联网与行业服务互联网，呈现出万务智联改变世界的 6G 愿景，详见图 2。

4 6G 业务需求初步分析

4.1 感知互联网

感知互联网是指视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉、情感与意念等全息协作实时交互媒体互联服务。

感知互联网的典型用例“如影随形实时共享感知”是指在预定的持续时间内，经过许可与信任控制，一个人可以通过自己的视觉和或其他感觉，真实地体验另一个人的感觉甚至生活。例如，一位母亲可以真实地体验孩子刚刚穿上新鞋后是否磨脚的个人感受。

4.2 AI 服务互联网

AI 服务互联网是指未来任何人、机器、组织或行为，都可以享受的协作智能互联服务。

AI 服务互联网的典型用例“高速公路无人自动驾驶”是指无人驾驶汽车或车队依据实时导航与定位机器人的最佳路线设计，机智地避免与车外人体或物体的碰撞，以最短时间、最小能耗到达目的地。

4.3 行业服务互联网

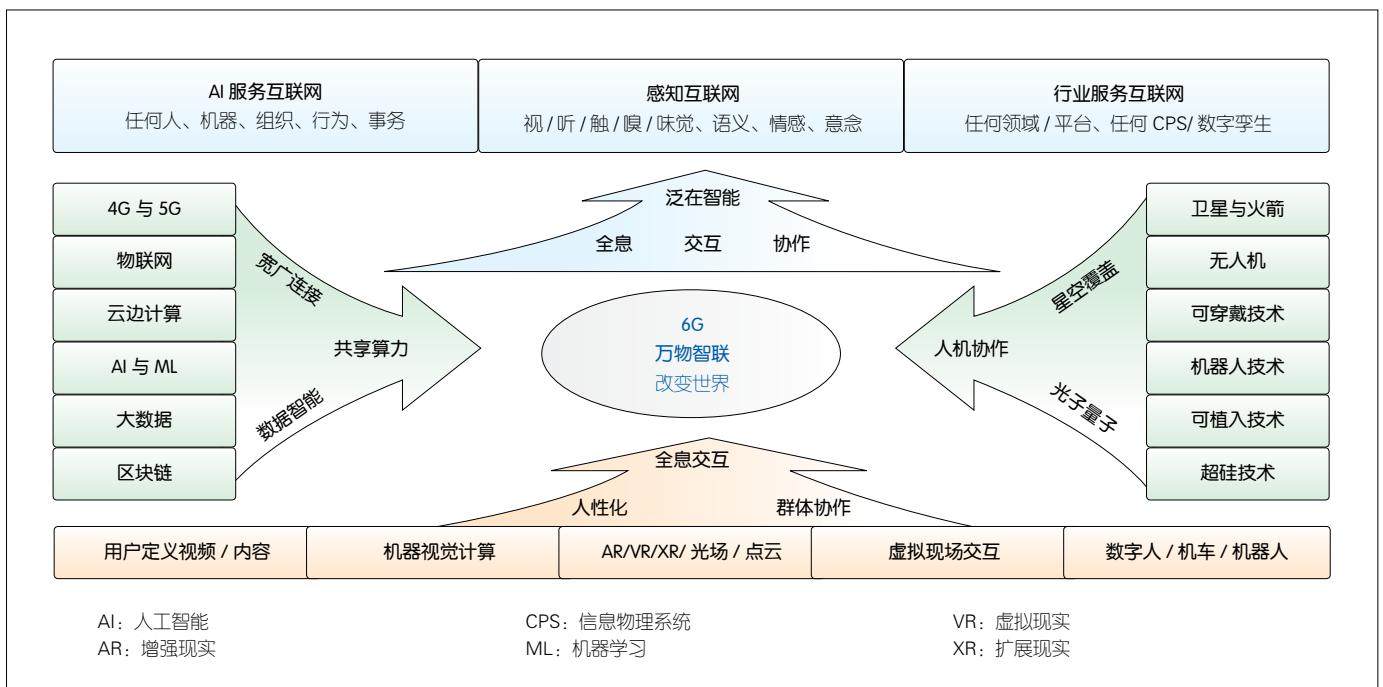
行业服务互联网是指跨越任何领域或平台、任何网络物理系统（CPS）或数字孪生服务所需的协作或虚拟孪生感应与执行互联服务。

行业服务互联网的典型用例“触觉反馈机器人手术”是指通过人机协作并借助多路辅助视频（包括增强现实视频）和触觉反馈的方式远程完成诸如冠状动脉、腹腔镜等无创外科手术。

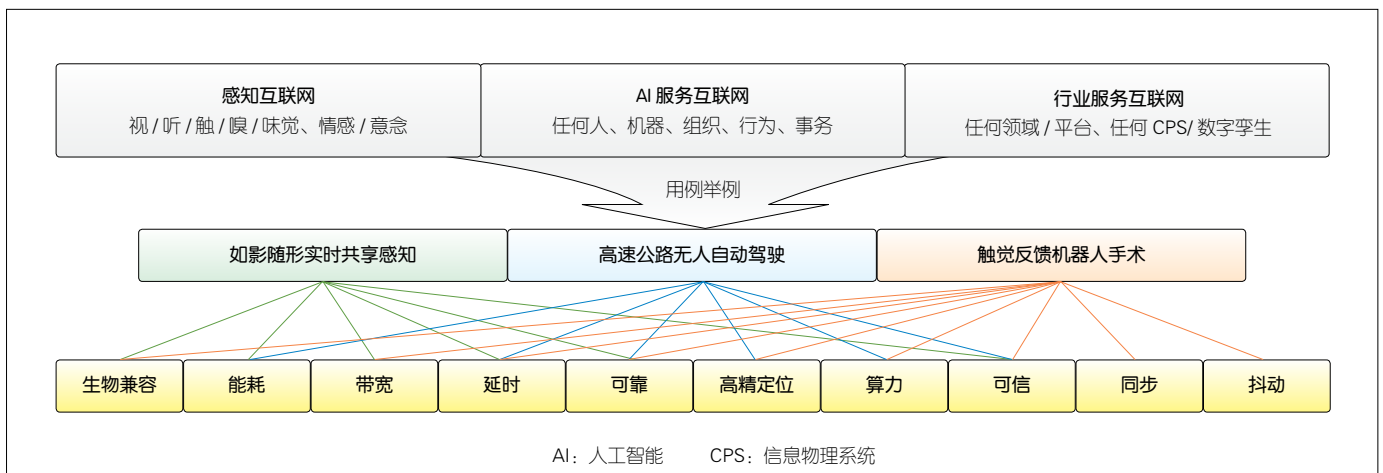
4.4 6G 业务需求

感知互联网侧重于感知全息实时共享，AI 服务互联网侧重于泛在智能，行业服务互联网侧重于人机或机器之间的协作自动。

图 3 列举了上述典型用例的初步连接需求，包括但不限于带宽、延时、同步、抖动、可靠性、高精定位、能耗、算力、生物兼容性等需求，每个典型用例的具体性能指标尚在研究之中。



▲图 2 6G 业务发展趋势与愿景



▲图 3 感知、AI 与行业服务互联网用例与需求

5 6G 网络性能指标初步预测

依据 3GPP R17 5G 新服务需求研究结果^[6-13]，结合高清、高自由度、人眼极限视频带宽与可靠性要求^[14-15]，以及自动驾驶定位精度要求^[16]和非地面网络空中基站移动速度^[17]要求等，我们可以初步估计 6G 时代新型服务的性能指标需求和相对 5G 网络性能指标的提升倍数，如图 4 所示。

6G 网络将支持 1 Tbit/s 的峰值数据率、20 Gbit/s 的用户体验数据率、10 Gbit/(s·m²) 的区域业务容量密度、100 Gbit/(s·m³) 的空间容量密度、每平方米 100 个终端的连接密度、167 dB 的最大耦合损耗(表示极限覆盖范围)、8 km/s 基站或小区移动速度、低于 0.5 ms 用户面时延、高于 7 个 9 的可靠性、20 年的电池供电寿命、0.2 μs 的确定性通信时延同步精度、低于 10 cm 高精度定位精度。相对而言 5G 网络支持 20 Gbit/s 的峰值数据率、100 Mbit/s 的用户体验数据率、10 Mbit/(s·m²) 的区域业务容量密度、每平方米 1 个终端的连接密度、164 dB 的最大耦合损耗(表示极限覆盖范围)、

500 km/h 的移动速度、0.5 ms 的 eMBB 用户面(UP)单向时延、5 个 9 的可靠性、10 年的电池供电寿命、1μs 的确定性通信时间同步精度、10 m 以上定位精度。6G 相对 5G 网络的性能指标提升倍数，详见图 4。当然，随着 5G 服务用例的不断扩展，5G 长期演进网络也可以有步骤地达到这些网络性能指标要求。

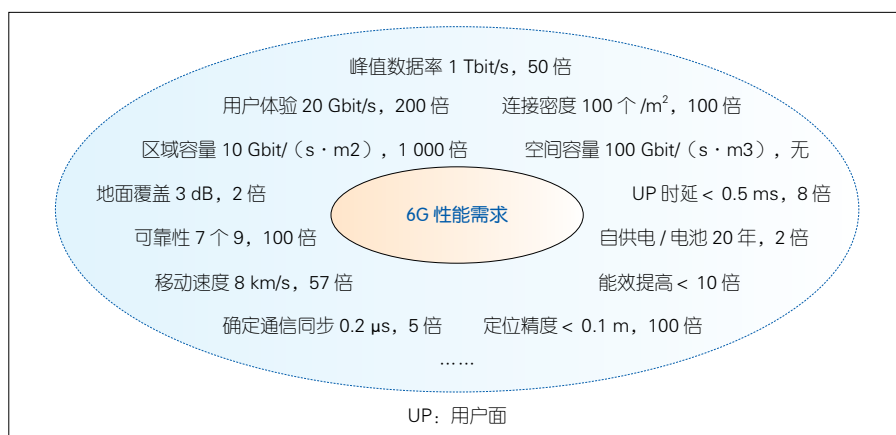
B5G/6G 技术研究结果，6G 网络使能技术可以从图 5 所示的结构、链路、空域、流域、推理、计算这 6 个维度来考虑，具体包括自治自动网络、智能三维连接、智能大规模天线阵、按需网络拓扑、按需网络计算、超硅计算与通信。

6.1 自治自动网络架构

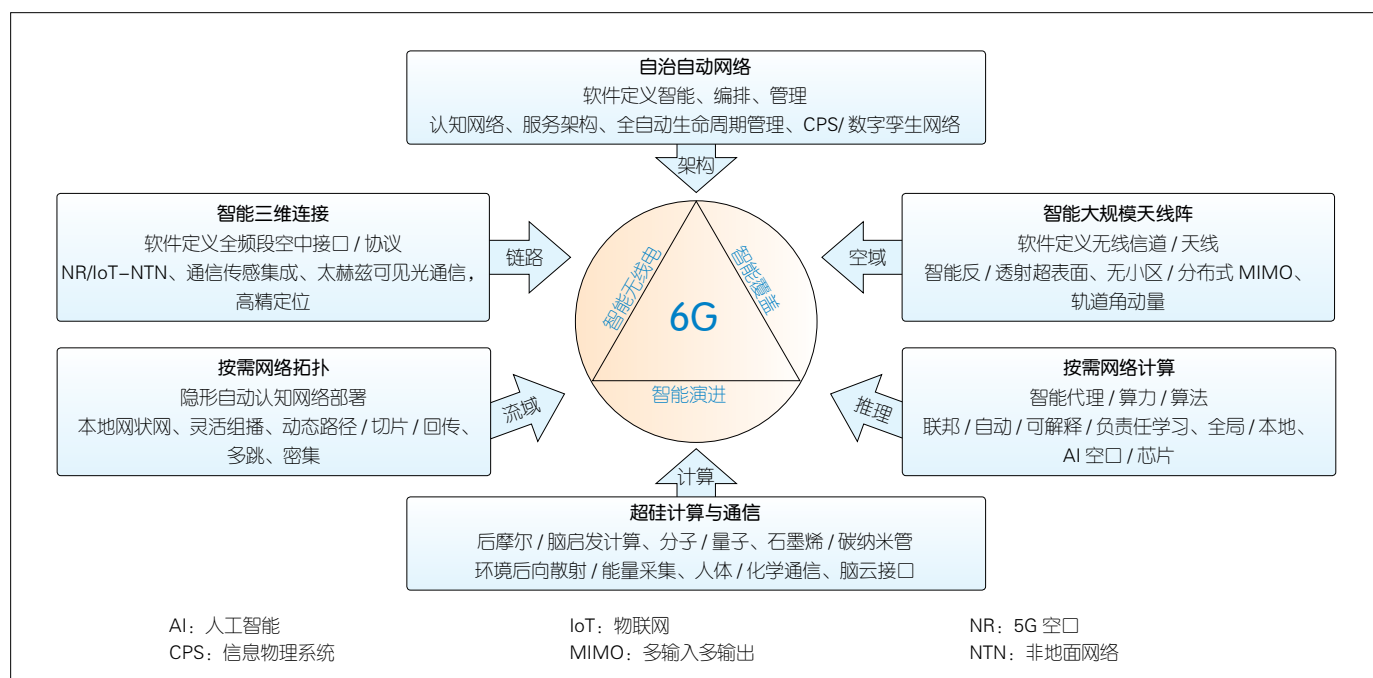
6G 网络不仅需要支持智能化、自动化、服务化的系统网络架构，实现软件定义智能、编排与管理(例如如

6 6G 网络潜在使能技术

面向上述 6G 及 5G 长期演进网络服务与性能需求，参考全球产学研



▲图 4 6G 网络性能指标要求及其相对 5G 的提升倍数



▲图 5 6G 网络技术体系框架

知网络、服务架构、全自动生命周期管理、CPS 与数字孪生网络），同时还需要支持智能无线电、智能覆盖与智能演进的无线网络架构^[18]，以确保服务、编排、管理、拓扑、部署、覆盖、空口、天线等连接要素的灵活性和软件可编程。

所谓智能无线电是指软件定义的无线信道，通过无线链路与其传播特性的分离，实现有线通信质量或超过有线通信质量的无线连接；智能覆盖是指终端与小区分离，虚拟小区为终端服务，小区边缘不再存在；智能演进是指独立的无线网络功能演进，任何动态操作可支持 AI 处理，网络拓扑可依据服务需求灵活选择与改变。因此，6G 自治自动网络架构将成为各项 6G 网络使能技术的融合基础。

6.2 智能三维连接

智能三维连接是指空、天、地、海一体化全频段智能通信连接，支持人与人通信、人机合作通信与机器通信，支持兆赫兹到太赫兹频率范围，支持 2G/3G/4G/5G 等地面网络（TN）与非地面网络（NTN）融合组网——这里 NTN 是指地上/水下无人机、半静止空中平台、飞行器、低/中/高/同步地球轨道卫星等组成的非地面通信网络。

智能三维连接主要技术挑战包括全频段频谱管理（包括 NR/IoT-NTN 空口演进、通信与传感集成、太赫兹与可见光通信、厘米级高精定位等多制式空口设计）、多制式和谐物理层共存设计、远距离随机接入与时频偏移补偿技术、高谱效大连接多址技术、无线资源与干扰管理、高速移动性管理、业务与终端服务连续性，确定性及其通信技术，以及满足一个或一组特定业务需求（如谱效、能效、成本效率、可靠性、时延与抖动）的智能

连接策略。其中，太赫兹通信技术挑战包括：极低峰均功率比波形与调制，超大带宽与容量信道编码，极窄波束管理技术，漫散射信道建模技术，极低功耗 RF 器件，高增益天线技术，大带宽数模与模数转换技术，全电与光电混合链路设计等。可见光通信技术挑战包括：可见光超辐射发光二极管等光信号源设计，大带宽与高灵敏度光检测器，外调制器、放大器、复用与解复用、光开关与收发集成器等光电混合器件，室内/室外/水下光信道建模以及阵列天线技术。

6.3 智能大规模天线阵

智能大规模天线阵是指依据空间自由度达到三维连接链路优设计要求的智能天线阵技术，包括能量有效的大容量多用户多输入多输出（MU-MIMO）、超大规模天线阵列智能波束管理技术、以终端为中心的分布式 MIMO 技术、灵活部署的智能反射/透射表面技术等。

智能大规模天线阵主要应用场景包括城市密集街区高频覆盖、大容量 MU-MIMO 能效改进、室外到室内连续覆盖、高频段高速移动无损切换、人造无线信道环境。

智能大规模天线阵主要技术挑战包括空间效率与链路性能联合优化、高增益低损耗智能天线面板设计、网络级多天线灵活部署策略、智能 MIMO 算法设计、智能导频与训练序列优化设计等。

6.4 按需网络拓扑

按需网络拓扑是指依据服务和连接需求灵活选择或改变网络部署形态与密度，以实现成本、能耗等性能指标的按需优化，包括 TN/NTN 接入与回传集成、本地网状网、灵活组播与多跳技术、动态路径选择、动态网络

切片、多层异构密集化技术等。

按需网络拓扑主要应用场景包括跨行业（如卫星广播电视与通信）数字基础设施综合服务平台、本地部署的 CPS 或数字孪生等确定性传感通信（如数字孪生城市基础设施监控、协作机器人通信）服务平台。

按需网络拓扑主要技术挑战包括数据/意图驱动智能拓扑（包括网状网、组播、多跳）策略、灵活无线接入网或虚拟小区（即用户为中心的服务小区）、智能移动网络（包括用户或站点移动性预测与切换）、智能端到端网络切片（包括业务与用户资源需求预测与分配）等。

6.5 按需网络计算

按需网络计算是指 6G 网络智能代理、算力与算法技术，包括神经网络、增强学习、迁移学习、对抗学习、联邦学习、自动学习、可解释学习、负责任学习等深度学习算法以及全局与本地 AI 分层技术和 AI 空口设计与 AI 芯片技术，以确保服务、资源、管理尤其是算力效率及其可信性。

按需网络拓扑应用场景包括物理层自动调制解调与信道编译码、无线高精定位、移动性管理、网络灵活部署、网络服务编排与管理等。

按需网络拓扑主要技术挑战为云边端混合联邦 AI 架构、网络全局与本地 AI 集成、多个 AI 代理目标对准、可解释 AI 算法设计、标签数据自助获取、数据标签的主动学习、训练与测试误差降低。

6.6 超硅计算与通信

超硅计算与通信是指各种后摩尔计算或人脑启发计算技术^[19]，包括计算存储技术、神经形态计算、量子计算等新型计算，基于石墨烯与碳纳米管等新型二维/三维材料的计算技术，三维

异质集成、多芯片结构与高速互联技术，以及环境无线能量采集技术、极近距离人体无线通信或液态分子通信、人体大脑与计算机或云接口技术等。

当然，这些新型计算技术的可行研究可能需要在 6G 演进网络框架中被考虑，例如以分子通信^[20]（液体或其喷雾的化学通信）和脑云接口^[21]（神经元细胞突触与超级大脑云之间的接口）为代表的微观三维连接技术。

7 中兴通讯 6G 创新技术实例

如何设计满足上述 6G 服务需求的 6G 网络结构与使能技术，并通过测试、试验验证其技术可行性，将是中国与全球 6G 产学研资源的共同使命。中兴通讯无线技术研究团队围绕上述 6G 使能技术开展了相应关键技术研究与创新工作，例如服务架构无线网络（SBA-RAN）、平滑虚拟小区技术（SVC）、智能反射表面 MIMO 技术（IRS-MIMO）与增强多用户共享接入（eMUSA）。这些创新技术实例不仅可以用于 6G 网络设计，还可以用于 5G 演进网络的需求与功能扩展及其性能提升。

7.1 SBA-RAN

为支持云原生的 6G 网络，有必要在无线接入网侧引入与核心网有效融合的服务架构网络——云原生的 6G 网络包括智能三维连接所需的原生的软件定义全频段空中接口和协议栈、需求，和意图驱动的多制式空口及不同物理层技术的灵活演进。服务架构无线网络一般设计原则包括：

- 1) 最小化耦合关系的模块化、服务化功能定义和功能划分；
- 2) 最大化流程重用，流程本身也是服务；
- 3) 控制功能和执行功能分离，以允许独立的实现、部署、弹性伸缩

和定制；

4) 解耦框架性功能（或平台性功能）与其上的无线服务功能；

5) 支持按需的“无状态”控制功能，其中“无状态”是指上下文的使用和存储是分离的。

无线接入网服务功能不仅包括物理层执行功能、物理层控制功能、用户面执行功能、用户面控制功能和无线连接控制功能，还包括和这些基础功能相关的数据存储功能、数据采集功能、智能分析功能和运营功能。无线服务功能可进一步划分为执行平面、控制平面、数据平面、智能平面、运营平面。跨平面的多功能协作可支持像无线接入网切片之类的高级特性。若大量的租户需要共享无线接入网基础设施，则执行功能和控制功能可以被运营平面、智能平面的功能所编排和配置，以满足不同租户的个性化需求。

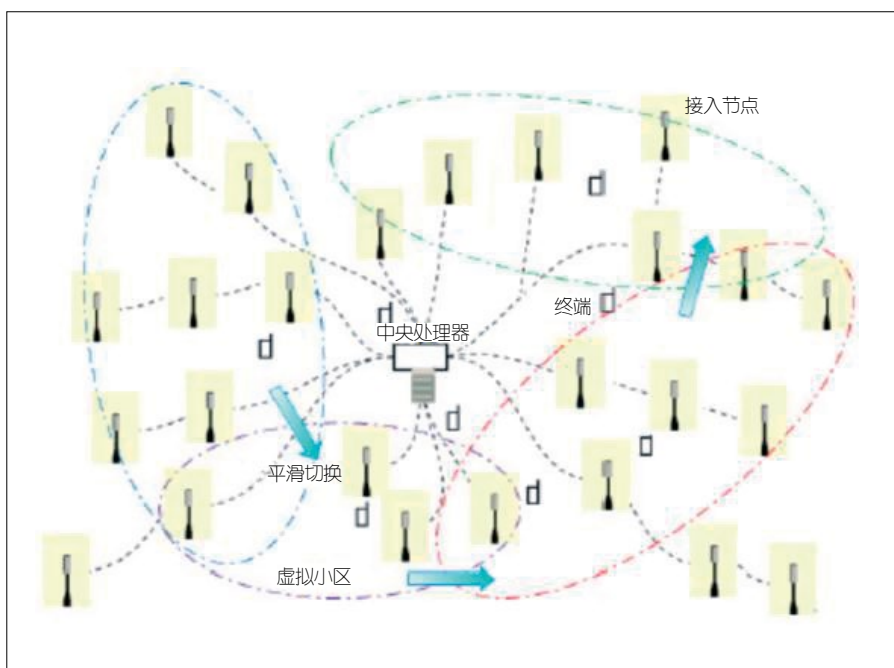
SBA-RAN 可以支持无线接入网不同功能的独立演进，它是原生的软件定义空中接口（SDAI）/协议（SDP）的使能技术。

7.2 SVC

SVC 通过部署大规模分布式接入节点（AP），利用本地化共轭预编码技术实现 AP 间相干上下行传输，以用户为中心的灵活虚拟小区构建，支持几乎一致的用户传输质量而不管它们处于哪个位置，来实现可以消除传统蜂窝小区边界的平滑切换技术，旨在解决小区间干扰问题并提升用户体验。

如图 6 所示，每个 AP 配备有少量天线，分布在所需覆盖区域内，通过前端前传网络协同工作，与一个或多个中央处理器（CPU）相连。在理想情况下，平滑虚拟小区以时分双工模式运行，其上行链路导频信号可用于上行和下行链路信道估计。

每个用户享有由大量较佳质量的 AP 构造出的虚拟小区服务，路径损耗较小且多个信道相互独立，可以实现大规模衰落分集，从而解决了常规共址天线基站的小区边缘干扰问题。虚拟小区包含的 AP 规模越大，SVC 网络中的虚拟小区干扰会更容易被抑制。与此同时，信道硬化的效果使得整个



▲ 图 6 平滑虚拟小区概念框图

系统的设计得到有效简化。

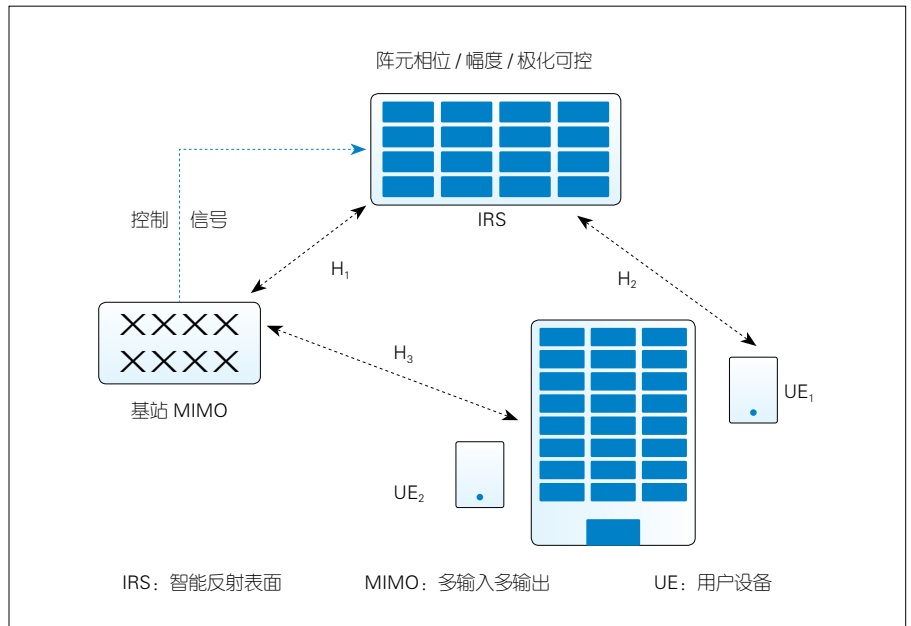
CPU 主要负责编码调制以及资源的调度分配等功能。下行信息发送时，在 AP 处执行信号共轭预编码来避免大量信道状态信息 (CSI) 的交换；上行信息接收时，AP 使用本地 CSI 实现预编码匹配滤波器、迫零或最小均方误差等信号检测处理。每个接入点由天线和用户设备级射频模块组成，这些模块执行数字操作，例如信道估计、组合 / 预编码、插值 / 抽取、数字预失真和离散傅里叶变换；因此这对前端网络传输容量提出更高要求。

SVC 主要应用场景包括高频段超大带宽通信、一致用户体验、低时延超高可靠通信、用户附近内容缓存、网络密集型计算任务。SVC 关键技术挑战包括前端前传带宽降低、无小区初始接入、免调度随机接入技术等。

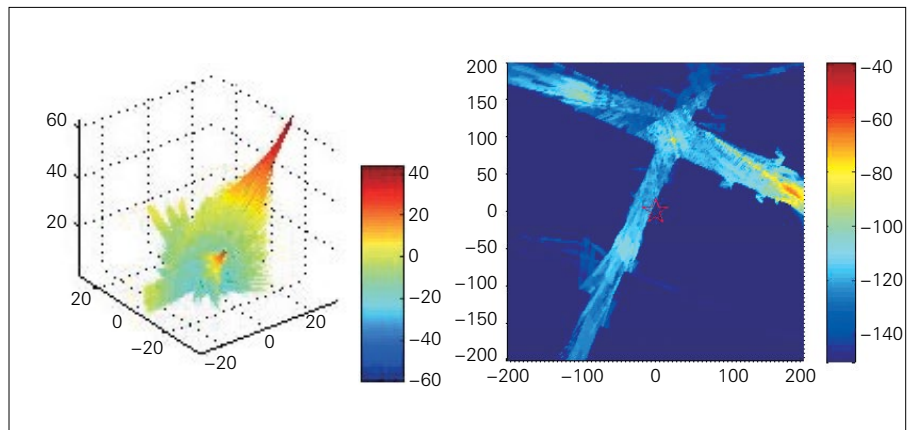
7.3 IRS-MIMO

IRS-MIMO 主要应用场景包括高频覆盖与服务连续性改进、MIMO 容量和或能效性能改进、人造无线信道环境。图 7 给出 IRS-MIMO 系统组成框图，该系统由 MIMO 基站、基站可控的智能反射表面天线板、用户终端组成。基站可以通过无线或有线控制信令接口，按需控制智能反射表面天线板辐射信号相位 / 幅度 / 极化等配置参数。处于基站非视距传播位置且无法接收到基站的直射信号的用户终端 (UE1)，可以通过 IRS-MIMO 天线板接收基站 MIMO 发射信号。

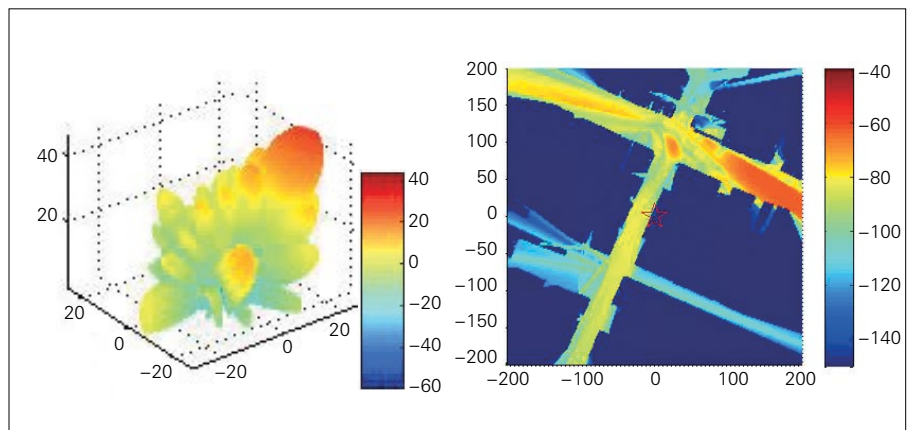
图 8 与图 9 分别给出了高频段 (28 GHz) 与低频段 (2.6 GHz) 上城市密集街区楼顶 IRS-MIMO 天线板主波束对准某一方位时的辐射方向图，同时给出了 IRS-MIMO 天线板通过反射基站 MIMO 信号在原基站非直射区域的接收信号强度仿真结果。结果显示，该基站原来的覆盖盲区街道上目



▲ 图 7 IRS-MIMO 系统室外覆盖扩展



▲ 图 8 28 GHz 频段智能反射表面 (IRS) 面板立体方向图 (单位: dBi) 与 IRS 对基站信号的反射信号强度分布 (单位: dBm)



▲ 图 9 2.6 GHz 频段智能反射表面 (IRS) 面板三维方向图 (单位: dBi) 与 IRS 对基站信号的反射信号强度分布 (单位: dBm)

标覆盖区域的信号得到了增强，从而扩展了基站 MIMO 的覆盖。需要被进一步研究的 IRS-MIMO 技术问题包括：IRS-MIMO 信道建模；IRS 天线板的面板配置参数设计，及其对 MU-MIMO 能效、容量或谱效影响的定量评估；基站与反射信号联合优化的 MU-MIMO 算法优化设计等等。

7.4 eMUSA

随着未来通信技术从人的通信转变为物的通信、下行为主转变为上行为主、基站为中心转变为去中心化，传统的接入技术将无法处理海量连接和实时传输的需求；因此，eMUSA 技术^[22]应运而生。eMUSA 是一种轻量级和即时的多用户传输技术。图 10 给出了 eMUSA 技术愿景、特性与技术实现。

eMUSA 可以应用在海量机器类通信 (mMTC) 场景，简化传输交互流程，

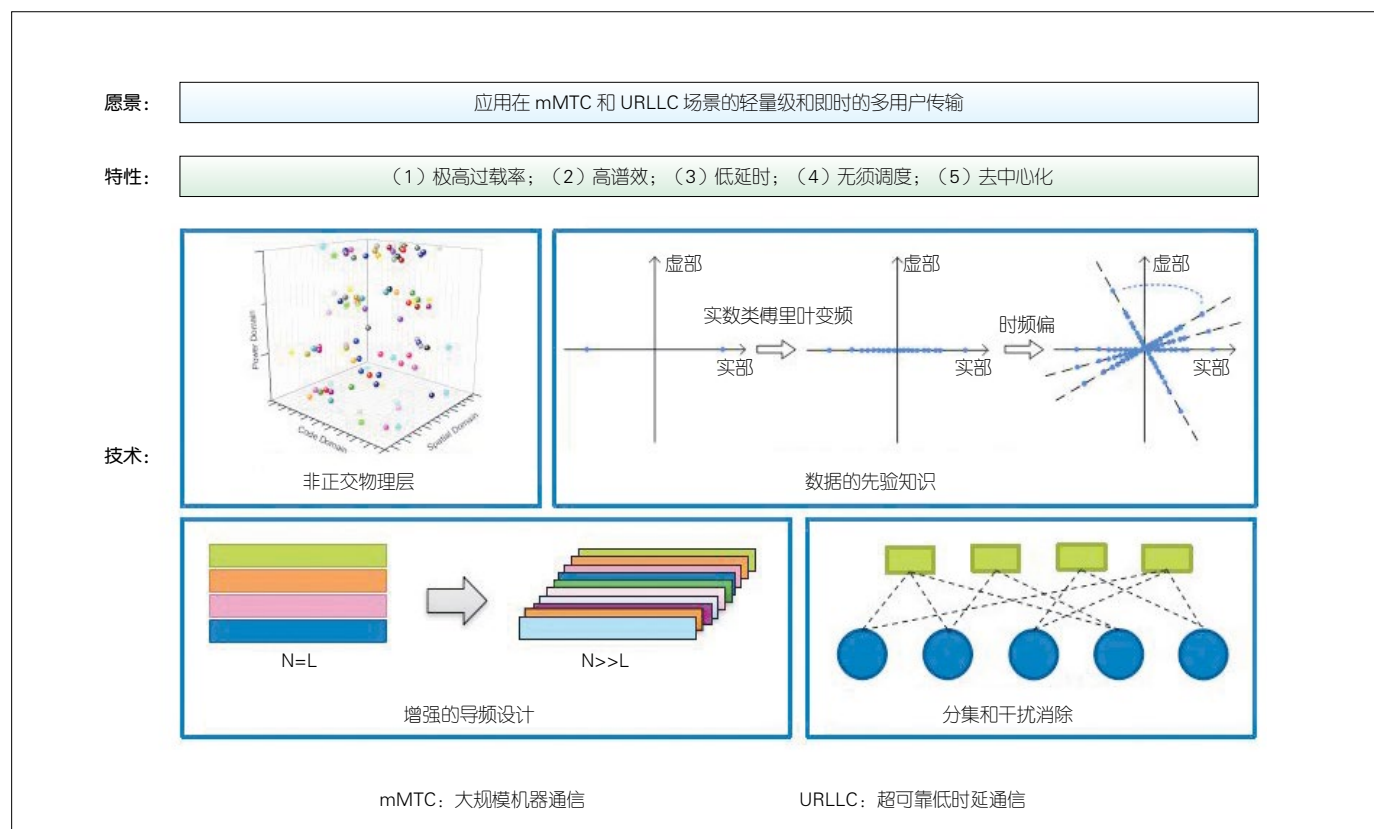
省去海量用户调度的巨大开销，从而实现高过载和高谱效的小包传输和低成本终端设计。eMUSA 也可以应用在超可靠低时延通信 (URLLC) 场景，减少调度造成的延时，并且可以支持无设施的端到端传输，以保障传输的稳健性。另外，eMUSA 无需中心节点的调度，就可以满足未来以用户为中心的 6G 网络架构要求。

在免调度的场景，多用户传输无法保证严格正交，eMUSA 采用基于功率域、码域和空域的非正交技术来区分不同的用户。为了避免导频碰撞，eMUSA 支持无须导频的纯数据传输。eMUSA 利用数据的先验知识进行用户检测、均衡、时频偏估计等信号处理，并且针对物联网采用创新的波形设计来支持低峰均比 (PAPR)。当接收天线数很多时，基于数据的方案对于空域合并比的搜索空间太大、复杂度

高。在这种场景下，eMUSA 采用增强的导频设计来减小导频碰撞。和传统的非正交导频不同，eMUSA 采用部分正交的导频设计以减小接收端的复杂度，降低邻小区干扰和抵抗时频偏。另外，由于接入的用户数是完全随机的，eMUSA 可以借助分集和干扰消除技术来平均不同时刻上的用户干扰，以获得更加可靠的性能。

8 总结与展望

终端与应用创新始终是移动网络“跳跃式”发展的动力，例如智能手机、社交网络与用户短视频；而受限光波处理算法与终端算力，增强现实/虚拟现实 (VR)/XR 终端尚未“再现”智能手机的成功。未来新型服务终端、超硅与非冯·诺依曼计算、5G 竞争技术的比较创新，将在很大程度上决定 6G 需求、架构与技术创新的性质是“演



▲图 10 增强多用户共享接入愿景、特性及技术实现

进”还是“革命”。其中，超硅计算既是 6G 最大挑战，也是 6G 潜在机会；石墨烯与碳纳米管等新型材料科学、神经生态计算、量子计算、人脑科学等基础研究，将帮助 6G 发现并使用维持摩尔定律高速发展的计算技术。

当然，网络侧技术创新的目标始终是：更高的频段和或带宽，更高的频谱、空间、接入、能量、成本、冗余、链路、拓扑、密集部署、管理与编排、计算效率。6G 自治自动网络架构、智能三维连接、智能大规模天线阵、按需网络拓扑、按需网络计算是实现上述网络侧技术创新目标的潜在候选技术。其中，空地通信融合组网、平滑虚拟小区、智能反/透射表面 MIMO 技术、大约 1 ~ 10 GHz 带宽的太赫兹通信、通信传感集成技术、增强多用户共享接入等 Pre6G 技术将可能率先在 5G 演进网络中得到应用。

面向 2020—2023 年 B5G 与 6G 研究窗口，中兴通讯将立足 2G、3G、4G 与 5G 大规模商用网络的连接技术积累，与全球 6G 产学研创新生态系统互相合作，为 5G 向 6G 网络的长期演进贡献更多更强的 Pre6G 创新技术。6G 商用虽然遥远，但是 Pre6G 技术正在向我们走来！

致谢

本文第 7 章的主要贡献人包括中兴通讯股份有限公司无线经营部陈艺骞、马一华、窦建武、谢峰、袁志峰与彭琳，在此表示特别感谢！同时，郁光辉、向际鹰博士在本文起草中提出指导意见，在此一并感谢！

参考文献

- [1] ITU. Workplan for a preliminary draft new report ITU-R M. [IMT. FUTURE TECHNOLOGY TRENDS][R]. ITU-R WP5D#34 Meeting Document 5D/TEMP/96, 2020
- [2] ITU. ITU-R working party 5D structure and workplan[R]. ITU-R WP5D#34, R19-WP5D-C-0134/H02/MSW-E, 2020
- [3] 钟义信. 智能是怎样生成的[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(2):47-51. DOI: 10.12142/ZTETJ.201902010
- [4] 张嗣宏, 左罗. 基于人工智能的网络智能化发展探讨[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(2):57-62. DOI: 10.12142/ZTETJ.201902009
- [5] WANG Z D. Editorial: special topic on machine learning for wireless networks[J]. ZTE communications, 2019, 17(2): 1-1. DOI: 10.12142/ZTECOM.201902001
- [6] 3GPP. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies: R14 TR 38.913[S]. 2016
- [7] 3GPP. Service requirements for the 5G system: R15/16/17 TS 22.261[S]. 2017
- [8] 3GPP. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains: R16 TR 22.104[S]. 2019
- [9] 3GPP. Study on communication for automation in vertical domains (CAV): R16 TR 22.804[S]. 2018
- [10] 3GPP. Study on communication services for critical medical applications: R17 TR 22.826[S]. 2019
- [11] 3GPP. Study on audio-visual service production: R17 TR 22.827[S]. 2019
- [12] 3GPP. Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains: R17 TR 22.832[S]. 2019
- [13] 3GPP. Study on network controlled interactive service (NCIS) in the 5G System (5GS): R17 TR 22.842. 2019
- [14] Qualcomm. VR and AR pushing connectivity limits [EB/OL]. (2017-03-29)[2020-06-16]. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits>
- [15] BASTUG E, BENNIS M, MEDARD M, et al. Toward interconnected virtual reality: opportunities, challenges, and enablers[J]. IEEE communications magazine, 2017, 55(6): 110-117. DOI:10.1109/mcom.2017.1601089
- [16] REID T G R, HOUTS S E, CAMMARATA R, et al. Localization requirements for autonomous vehicles[J]. Robotics, 2019, 2(3). DOI: 10.4271/12-02-03-0012
- [17] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): R16 TR 28.821[S]. 2020
- [18] FANG M. Service native challenges and innovations towards 6G[C]//Keynote presentation in the 2nd 6G Wireless Summit: Finland, March 17-18, 2020. http://www.6gsummit.com/keynotes/keynote6_public/
- [19] BAUSU S, BRYANT R E, MICHELI G D, et al. Nonsilicon, non-von neumann computing—Part I [Scanning the Issue][J]. Proceedings of the IEEE, 2019, 107(1):11-18. DOI: 10.1109/JPROC.2018.2884780
- [20] KUSCU M, DINC E, BILGIN B A, et al. Transmitter and receiver architectures for molecular communications: a survey on physical design with modulation, coding, and detection techniques[J]. Proceedings of the IEEE, 2019, (99):1-40. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2916081
- [21] MARTINS N R B, ANGELICA A, CHAKRAVARTHY K, et al. Human brain/cloud interface[J]. Frontiers in neuroscience, 2019, 13. DOI: 10.3389/fnins.2019.00112
- [22] YUAN Z, LI W, LI Z, et al. Contention-based grant-free transmission with independent multi-pilot scheme[EB/OL]. (2020-04-07)[2020-06-16]. <https://arxiv.org/abs/2004.03225>

作者简介



方敏，中兴通讯股份有限公司无线经营部 6G 研究与合作总监、清华大学信息与通信系统专业工学博士；长期从事下一代无线通信系统关键技术研发、标准化与专利保护工作，现专门从事 6G 新服务、新频谱、新结构与新技术相关的创

新技术研究工作；曾率领中兴通讯无线标准团队全程参与并完成 3GPP R8 LTEFDD 与 EPC 标准技术规范的研究与起草工作，并对 5G 关键技术可行性研究做出突出贡献，其中 Pre5G 大规模天线阵技术获得 2016 年世界移动大会双项技术大奖；参与发表 1 部 5G 专著并获多项发明专利。



段向阳，中兴通讯股份有限公司无线架构总经理、国家重大专项专家组成员、未来移动通信论坛副理事长；负责中兴通讯无线系统关键技术规划与创新，拥有超过 20 年的移动通信关键技术和产品研发经验；

获得中国电子学会科技进步一等奖 1 次、深圳市科技进步一等奖 2 次；发表 IEEE 专题论文 1 篇，获国家发明专利 15 项。



胡留军，中兴通讯股份有限公司无线经营部算法部部长，工程博士；从事移动通信技术研究和管理工作 20 余年，主要研究方向包括系统功率控制、编码调制技术、物理层处理流程设计、超密集组网技术以及网络规划与优化等；主持

了 TD-LTE-Advanced 技术标准研发与验证、5G 热点大容量组网技术与试验系统研发等多项国家级重大项目，曾获得广东省专利金奖、广东省科学技术奖二等奖等；发表论文和专利共百余篇。