



5G 关键技术演进方向与行业发展趋势

种璟¹, 唐小勇¹, 朱磊¹, 李娜², 张钰¹, 游正朋¹, 胥培柯¹, 刘佳¹

(1. 中移(成都)信息通信科技有限公司, 四川 成都 610200;

2. 中国移动通信集团有限公司, 北京 100083)

摘要: 随着 5G 与行业的进一步融合, 目前标准所定义的 Release 15/Release 16/Release 17 能力在行业需求的支持上略显不足。结合行业关注的重点特性与能力, 详细回顾了 5G-Advanced (Release 18) 的技术演进方向, 并给出该技术演进方向潜在的技术方案与解决思路, 为后续的技术演进提供参考, 包括下行 MIMO 增强、上行传输增强、移动性增强、拓扑传输技术增强、Sidelink 增强、RedCap 技术演进、定位能力扩展与增强和 AI/ML 5G 等; 同时, 详细分析了当前行业现场网存在的问题, 包括行业终端接入、接入网络、E2E QoS 保障等多个层面, 提出了包括基于 SLA 的行业组网技术、高带外 (OOB) 抑制技术、多缓存调度 (MBS) 技术、全连接行业接入网络技术、算力网络 (CFN) 技术, 并给出了其潜在的实现方式。

关键词: 5G-Advanced; 多缓存调度; 算力网络

中图分类号: TN91

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022097

Evolution and industry trend of 5G key technologies

CHONG Jing¹, TANG Xiaoyong¹, ZHU Lei¹, LI Na², ZHANG Jue¹, YOU Zhengpeng², XU Peike¹, LIU Jia¹

1. China Mobile (Chengdu) Information and Communication Technology Co., Ltd., Chengdu 610200, China

2. China Mobile Communications Group Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract: With the further integration of 5G and the industry, the current standard-defined Release 15/Release 16/Release 17 capabilities were slightly insufficient to support industry needs. The technological evolution direction of 5G-Advanced (Release 18) was reviewed in detail, and potential technical solutions for the technological evolution were given, including downlink MIMO enhancement, uplink transmission enhancement, mobility enhancement, topology transmission technology enhancement, Sidelink enhancement, RedCap technology evolution, positioning capability expansion and enhancement, AI/ML 5G, etc. At the same time, the current industry scene was analyzed in detail, those existing problems including industry terminal access, access network, E2E QoS guarantee, etc. The 5G technologies including SLA-based industry networking, high out-of-band (OOB) suppression, multi-buffer scheduling (MBS), fully connected industry access network technology, computing force network (CFN) technology, and potential implementation methods were proposed.

Key words: 5G-Advanced, multi-buffer scheduling, computing force network

0 引言

5G 作为下一代移动通信关键技术,自 2018 年正式商用以来,已经被广泛应用于各行各业^[1],比如教育、医疗、农业、金融、工业、游戏、XR (augmented reality) /VR (virtual reality) 等垂直行业场景^[2-3]。但随着 5G 与行业的进一步融合,目前标准所定义的 Release15 (简称 Rel-15) / Rel-16/Rel-17 能力在行业需求的支持上略显不足,包括上下行速率不对称无法支撑视频的大上行传输需求、移动场景下服务基站的频繁切换无法满足超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low latency communications, URLLC) 业务需求、缺乏灵活的盲点或者热点补强方案以满足行业现场网的动态部署需求、室内室外高精度定位能力、轻量化行业通信终端以及复杂场景下的通信优化能力等。

本文结合行业关注的重点特性与能力,详细回顾了 5G-Advanced Rel-18 的技术演进方向^[4],并给出该技术演进方向潜在的技术方案与解决思路,为后续的技术演进提供参考,包括下行多输入多输出 (multiple input multiple output, MIMO) 增强、上行传输增强、移动性增强、拓扑传输技术增强、Sidelink 增强、能力轻量化 (reduced capability, RedCap) 技术演进、定位能力扩展与增强、AI (artificial intelligence) /ML (machine learning) 5G 等;同时,详细分析了当前行业现场网存在的问题,包括行业终端接入、接入网络、端到端 (end to end, E2E) 服务质量 (quality of service, QoS) 保障等多个层面,在已有 5G 技术演进 (5G-Advanced) 所识别的问题和方向的基础上^[5],提出了包括多缓存调度 (multi-buffer scheduling, MBS) 技术、全连接行业接入网络技术、算力网络 (computing force network, CFN) 技术,并给出其潜在的实现方式。

1 5G 技术总体研究进展

1.1 5G 标准研究进展

Rel-15 在 2018 年 9 月正式冻结并商用,基于服务的架构 (service based architecture, SBA) 的 5G 独立 (standalone, SA) 架构创新性、革命性的 5G 新架构设计,为后续 5G 版本的演进建立了坚实的基础^[6]。在 2020 年 6 月,Rel-16 版本冻结,在增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB) 方向引入了大量增强技术以持续提升 FR1 和 FR2 下的传输速率与可靠性,包括 MIMO 增强、IAB (integrated access and backhaul) 接入回传一体化、移动性增强以及非授权频段等技术;在 URLLC 方向,引入了工业互联网、非公共网络、车联网、网络切片增强等进一步提升 5G+行业融合的技术;为了快速提升 5G 对大连接物联网 (massive machine type communication, mMTC) 的支持能力,在该版本中引入了 LTE-Advanced 所定义的 NB-IoT 技术,保障市场短期投资的同时满足大连接的业务需求。当前 3GPP 标准正全力推进 Rel-17 的标准制定与收尾工作^[4],以满足 5G 面向行业的差异化服务需求,包括覆盖与定位增强、用户体验质量 (quality of user experience, QoE) 切片、新频段、非公共网络增强、非地面网络、多 SIM 支撑、边缘计算增强等方向,Rel-17 预计在 2022 年 6 月完成协议冻结工作。5G 标准演进路线与时间表如图 1 所示。

5G 历经 Rel-15 到 Rel-17 共 3 个版本的迭代优化,已基本具备同时支持 eMBB、URLLC、mMTC 业务场景的服务提供能力,为了适配更广泛的垂直行业应用场景,3GPP 已启动 Rel-18 的研究工作,并正式将 5G 演进命名为 5G-Advanced^[5],为 5G 面向 2025 年后的发展定义了新的目标和能力。5G-Advanced 的特征可归结为“融合、智慧、低碳”^[7],通过全面演进和增强,使能 5G 产生更大的社会和经济价值。

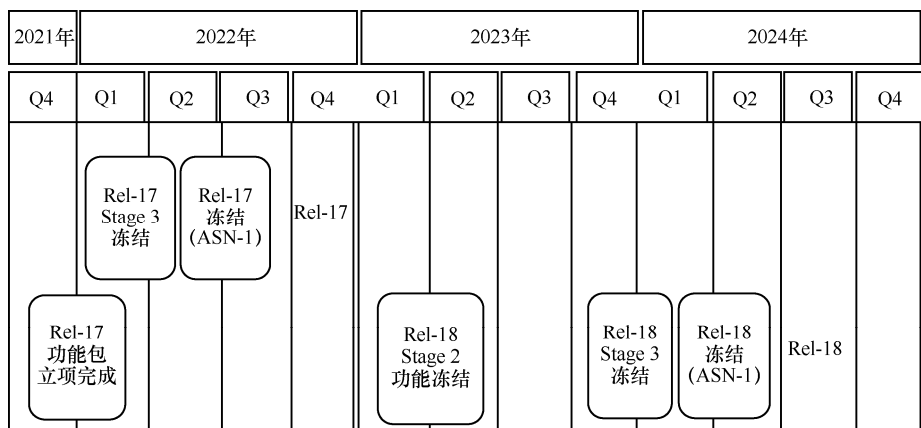


图1 5G 标准演进路线与时间表

当前 Rel-18 立项还存于讨论阶段, 预计在 2023 年 12 月完成标准冻结。

1.2 5G 产业推进进展

至 2019 年 5G 正式商用以来, 目前中国已发展 5G 套餐用户数达 4.5 亿, 建设的 5G 基站数达到 85 万个, 占全球 5G 基站建设总量的 70%。同时, 全球 5G 发展进入高速发展阶段, 美国、欧盟、日本、韩国等国家和地区纷纷提出了多项刺激 5G 发展的计划, 预计 2026 年年底, 全球 5G 用户数将达到 35 亿。同时, 我国为了深化 5G 建设, 推进 5G 融入千行百业, 赋能传统经济的数字化转型需求, 2020 年 4 月 30 日, 工业和信息化部等十部门联合发布《5G 应用“扬帆”行动计划(2021—2023 年)》, 提出了“坚持需求牵引、坚持创新驱动、坚持重点突破、坚持协同联动”4 个基本原则为基本行动纲领, 到 2023 年实现我国在 5G 行业应用发展水平的显著提升, 并打造面向医疗、教育、工业等行业服务的 IT、CT、OT 与业务深度融合的新生态。

2 5G 关键技术演进方向

围绕 Rel-18 5G-Advanced 的总体研究目标与方向^[5], 重点对下行 MIMO 增强、上行传输增强、移动性增强、拓扑传输技术增强、Sidelink 增强、RedCap 技术演进、定位能力扩展与增强、AI/ML

5G 等方向进行了问题分析, 并给出了每个方向后续潜在的技术方案与演进方向。

2.1 下行 MIMO 增强

MIMO 作为提升频谱效率最有效的技术之一被广泛关注, 历经 4G、5G Rel-15/Rel-16/Rel-17 的迭代演进, MIMO 在预编码、导频设计、信道状态信息(channel state information, CSI)反馈等领域取得了重大突破, 当前可支持高达 12 个数据流的同时传输且在 FR2 频段内单个用户的传输速率高达 10 Gbit/s; 随着 5G 在行业场景中的深入应用, 为了满足更多用户终端(user equipment, UE)的数据传输需求, MIMO 技术需进一步演进, 特别是在预编码设计领域、解调参考信号(demodulation reference signal, DMRS)/探测参考信号(sounding reference signal, SRS)设计领域、CSI 反馈等领域^[8]。

当前以线性预编码技术和高精度 DA/AD RF 通道为基础的 MIMO 系统, 存在 MIMO 流数远小于天线数、大规模 MIMO 天线成本太高无法适用于室内流量高地等问题; 同时在技术实施上, 存在反馈开销大、信道时域或者频率选择性衰落导致 MIMO 性能急剧下降等问题; 因此, 在 Rel-18 MIMO 系统设计中, 应考虑引入非线性预编码技术, 并结合当前的线性预编码技术进一步提升 MIMO 流数; 其次, 应该考虑低成本 MIMO 系统

(比如降低 AD/DA 采样精度),以满足室内大容量数据传输的需求;最后,应联合频域、时域、功率域等多维信息的压缩,降低预编码的反馈开销,以适应更复杂的场景。

为保障 MIMO 信号在基站和 UE 端能够被顺利解调,DMRS 和 SRS 的设计至关重要;当前 5G MIMO 系统中 DMRS 与 SRS 的总体设计限制了 MIMO 能力的发挥(比如最大正交端口数为 12,导致最大配对用户数为 12),因此在后续的技术演进中需对参考信号(reference signal, RS)序列以及时频资源进行重新设计,以解除 DMRS 与 SRS 的限制并最大化配对用户数。特别地,在 SRS 的设计中,除了考虑单发送/接收点(transmission/reception point, TRP)下的容量需求外,还需解决在多 TRP 传输场景下 SRS 互干扰的问题,保障信道估计的准确性。

2.2 上行传输增强

随着 UE 从内容消费者向内容生产者角色的转变,对上行传输的速率、时延等指标提出了更高的要求;而当前 5G 系统呈现出上下行容量极不对称的现象(下行吞吐量 ≥ 1 Gbit/s,而上行吞吐量 ≤ 70 Mbit/s),因此如何提升上行传输能力以满足上行高吞吐的需求至关重要^[9]。演进方向包括提升上行发送天线数、UE 端多天线面板联合传输技术、上行预编码增强技术与上行覆盖增强 4 个方向。

通过提升上行发送天线数(至少支持 4Tx)可极大提升上行信道的传输质量以及 RANK(信道矩阵的秩),明显提升上行传输容量;通过 UE 端多天线面板联合传输技术,可有效解决当前 UE 即使在多天线面板的配置下(特别是在 FR2 频段),在上行数据传输过程中依然只选择一个面板进行传输带来的性能限制问题。更进一步地,当前的上行传输系统设计中,宽带预编码技术无法适应信道的选择性衰落,并导致在多用户配对情况下性能急剧下降;因此,需要针对上行信道的

频域选择性问题,重新设计上行预编码技术。

随着 NR 频段越来越高,与 LTE 频段相比, NR 呈现上下行覆盖性能(上行覆盖性能参考信号接收功率(reference signal receiving power, RSRP)与下行 RSRP 相比差 1.2 dB)极其不对称的现象,从而导致组网规划复杂、上行小区边缘速率偏低等一系列问题,因此如何提升物理上行共享信道(physical uplink shared channel, PUSCH)、物理上行链路控制信道(physical uplink control channel, PUCCH)的覆盖能力,在 Rel-18 的系统设计中是需要重点考虑的问题,也是提升 NR 频段支撑能力的关键。

2.3 移动性增强

虽然现有 5G 协议中引入了载波聚合(carrier aggregation, CA)、多无线接入技术双连接(multi-RAT dual connectivity, MR-DC)、双活动协议栈(dual active protocol stack, DAPS)等技术尝试降低 UE 在移动过程中的服务小区切换频率,但受限于现有 UE 设备的能力不能同时支持两个及以上的辅小区(secondary cell, SCell)/辅小区组(secondary cell group, SCG)接入,UE 在移动过程中还会引起频繁 L3 切换,从而导致在服务小区切换的过程中业务连续性和吞吐量无法保持、0 ms 切换无法实现等问题^[10]。因此,在移动增强领域,需引入基于 L1/L2 切换技术、DAPS/条件切换(conditional handover, CHO)融合增强技术、FR2 高频段移动增强等技术,实现 0 ms 移动切换,满足低时延业务需求。

UE 在服务小区切换的过程中,通过保持 L3 RRC 连接(即在不重新建立 RRC 连接的情况下),在多频段、多连接的场景下依赖 L1/L2 切换策略,可消除基于 L3 移动切换以及 RRC 重配置带来的数据传输中断等问题,从而实现在 Scells/SCG 中的 0 ms 快速切换能力。同时,通过进一步在网络侧与终端侧融合 DAPS 与 CHO 的能力,以及更改当前协议中 DAPS 与 CHO 不能同时在 UE 侧生效



的策略,实现 UE 在移动过程中服务小区切换场景下的数据 0 ms 中断要求。

同时,为了增强高频段 FR2 UE 在移动场景下的可靠性与稳定性,应在当前 DAPS 的总体设计中支持 FR2 频段的互切换策略 (FR2-FR2);同时基于窄波束通信的 FR2 频段,其受限于窄波束覆盖范围和弱穿透性的影响,需要设计一种新的 CSI 测量与反馈机制以解决 UE 在旋转或者手掌遮挡过程中,通信质量快速衰减的问题,比如 UE 采用多天面板信道质量监控与移动性切换触发等机制。

2.4 拓扑传输技术增强

为了进一步提升 5G 的应用场景,接入回传一体化技术 IAB 在 Rel-16 被引入,以解决 5G 站点覆盖能力不足、组移动导致的信令风暴等问题;为了进一步使能 IAB 节点部署的灵活性与便利性,需在现有协议所定义的 IAB 能力基础上,通过解决 IAB 节点在移动场景中存在的 IAB 多节点间的干扰管理问题、物理小区 ID (physical cell ID, PCI) 和随机接入信道 (random access channel, RACH) 冲突问题、UE 节点选择与切换等问题,拓展 IAB 的应用场景,包括高速列车、地铁、公交、热点补盲、便携式工业终端等;同时,通过使能 IAB 节点支持非授权频段以及 IAB 节点内部的本地分流技术,赋能 IAB 节点在更广泛的垂直行业场景下使用^[11-12]。

同时,为了降低 IAB 的部署实施成本,可引入智能放大器技术以延伸基站或者 IAB 节点的覆盖范围,但在 TDD 系统中因涉及下行-上行 (downlink-uplink, DL-UL) RF (radio frequency) 射频切换问题,难以保障信号的正确接收或者发送,因此需要设计一套 TDD DL-UL 配置机制,帮助智能放大器准确地识别 DL-UL 的时间转换点,从而帮助基站或者 UE 进行信号放大;另外,随着智能放大器的引入,需要基于当前定义的 IAB 多跳系统架构,探索与智能放大器的协同传输机制,最大化整体系统性能并最小化节点投资规模。

2.5 Sidelink 技术增强

在传统的 5G 整体系统设计思想中,应用或者服务只属于 eMBB、URLLC 或 mMTC 中的一种,但在 Sidelink 的实际应用场景中,比如车联万物 (vehicle to everything, V2X)、XR 等业务同时对 eMBB 和 URLLC 能力提出了需求,因此在现有定义的 5G Sidelink 协议基础之上,需要考虑新的组网方式以及协议设计,以解决单一能力支持问题;因此,在后续的演进过程中,需要考虑增加 Sidelink 的有效传输带宽,包括引入高频段 FR2、非授权频谱等,以同时满足高吞吐与低时延的业务传输需求^[13]。为了达成上述目标,需要对现有的 Sidelink 技术进行增强,包括 Sidelink 非授权频谱 (SL-U)、中继增强 (Sidelink relay) 等方向。

在 Sidelink 非授权频谱方向,需要重新定义信道访问机制 (先听后说 (listen before talk, LBT) 或者信道占用时间 (channel occupancy time, COT) 方式),解决非授权资源的分配方式以及对 Mode1/Mode2 的影响、非 slot 结构的物理层传输架构与流程、基于 Sidelink 同步信号块 (Sidelink synchronization signal block, S-SSB) 的同步方式以及授权与非授权载波聚合等方面的问题;同时,在中继增强方向,需要解决 UE-UE 的中继传输机制、多跳多路径数据传输机制以及 UE 组移动机制等,从而保障 UE 中继技术在面向多类型场景的使用。

2.6 RedCap 技术演进

为了满足工业连接需求、安防及可穿戴等行业需求,在 5G Rel-17 中引入了 RedCap 技术以重新定义一种全新的轻量化终端,以解决 eMBB UE 功耗高、实现复杂度大、价格昂贵等系列问题^[14]。目前,虽然 5G NR RedCap 已经把系统带宽降低到 20 MHz (FR1) 和 100 MHz (FR2)、MCS 最高支持到 64QAM^[15],但其提供的下行 170 Mbit/s 和上行 91 Mbit/s 的传输速率依然超过了绝大多数

IoT 设备的传输需求 (10 Mbit/s 或者 1 Mbit/s)。为了进一步降低成本, LTE Cat.1/1bis 技术已逐渐成为市场选择 10 Mbit/s/1 Mbit/s 的 IoT 设备数据传输的主选技术。因此如何进一步降低 RedCap 成本, 并保持与 LTE Cat.1/1bis 相当是 5G Rel-18 技术演进的重点方向。

为了解决上述描述的问题, 在 RedCap 的 Rel-18 技术演进中, 需要重点考虑以下技术方向, 包括进一步降低系统带宽、灵活可扩展的传输峰值速率调整、降低最大调制阶数、降低最大 DCI 盲检次数、降低最大 HARQ 次数、灵活的 HARQ 进程时间关联关系、支持 TypeBHD-FDD、移除非必要功能等。同时, 为了满足后续大规模接入与演进需求, 可考虑通过多播或者单播等技术降低传输开销。

2.7 定位能力扩展与增强

定位作为面向行业的关键服务能力之一, 基于蜂窝网、GPS、北斗、蓝牙、UWB、Wi-Fi 等技术所提供的定位能力已被广泛应用于垂直行业的各个领域。特别地, 定位能力的提供与精度优化一直是 5G 研究的重要课题之一, 目前历经 Rel-16/Rel-17 两个版本的迭代演进, 已经完成了 5G 定位的端到端系统与协议设计。但随着 IoT 设备对定位需求的逐渐增加, 如何在维持 IoT UE 低功耗的情况下, 提升定位的精度和降低定位时延在当前的协议设计中面临较大的技术挑战^[16], 比如在终端电池供电持续工作 1 年, 定位精度在 90% 的场景下可达到 0.2 m, 定位 E2E 时延控制在 10~100 ms。

因此, 围绕低功耗高精度的定位需求, 在 Rel-18 的技术演进中, 可从解耦通信与定位带宽、移动性增强、超深度睡眠等多个技术维度, 建立满足低功耗与高精度要求的新型传输机制或者技术体系。解耦 Rel-16/Rel-17 系统中通信与定位带宽的绑定关系, 通过压缩通信带宽降低 UE 功耗, 增加 PRS 或者 SRS 带宽以提升定位精度; 同时,

为避免处于 RRC_inactive 状态的 UE 在移动定位的过程中, RRC 状态的频繁切换导致功耗增加, 需构建定位区域概念并在该区域保持 SRS 或者 PRS 不变, 以降低该类 UE 在移动过程中的定位功耗。另外, 在 Rel-18 中引入 RedCap 与 Sidelink 等终端技术, 因此需要重新定义与考虑如何基于 RedCap 增强技术以及 Sidelink 增强技术提供高精度定位。

2.8 AI/ML 5G 技术

无线通信系统是基于香农理论、检测理论、排队理论等精确数学模型构建起来的。然而, 由于无线环境的高度随机性和多样性、系统优化参数与模型(如发送和接收天线的数量、UE 的数量、TRP 的数量、带宽等)的复杂性, 尽管使用了精确的数学模型, 通过穷举搜索和迭代启发式算法无法找到最优解并且成本高昂。考虑 AI/ML 模型理论上能够以合理数量的神经元拟合任何优化问题, 从而解决传统系统中无法精确建模或者解决方案成本高昂等问题。如可以将 AI/ML 应用在 AI 辅助定位、上下行信道估计、CSI 精确反馈以及波束管理等物理层设计中, 也可以用于跨层联合优化调度、网络节能等高层协议或者算法的设计中。

虽然, 标准组织已开始讨论将 AI/ML 应用于无线网络, 当前在 Rel-17 RAN3 中启动了关于 NR 和 ENDC 数据收集增强的研究项目^[17-22], 其主要目的是研究 RAN 智能化功能框架, 并且确定了基于 AI/ML 的更高层用例, 包括负载平衡、网络节能、移动性以及流量转向等。但基于 AI/ML 的无线通信系统设计需解决两个基本问题: 首先, 需建立基于 AI/ML 的链路级与系统级仿真方法, 以客观公正地评价 AI/ML 与传统方法间的性能差异; 其次, 考虑 UE 端算力的限制, 需考虑如何结合网络侧的 MEC 计算资源, 实现无线通信侧的 AI/ML, 从而达到在不增加 UE 功耗与成本的情况下, 最优化系统性能。



3 5G 行业应用相关技术发展趋势

3.1 5G 行业技术需求

5G 关键技术包括网络切片、边缘计算等已广泛应用于教育、医疗、农业、金融、工业等垂直行业场景,除了第 2 节所提及的 5G 技术自身迭代演进之外,但在实际的使用过程中,在行业终端接入、接入网络、E2E QoS 保障等方面依然存在较多问题。下面从行业终端接入、接入网络与 E2E QoS 保障层面分别举例进行说明。

在行业终端接入层面,用户驻地设备(customer premise equipment, CPE)被用作 5G 信号到其他信号制式(Wi-Fi、光纤、有线等)的转换网关,以满足不支持 5G 接入的行业设备能够接入 5G 网络的需求;但在实际的业务匹配过程中,由于基站无法识别 CPE 后端接入的网络类型或者业务类型,以及 CPE 上报的缓存(buffer)信息没有反映其后端接入网络类型或者业务类型的传输性能差异化需求,CPE 后端接入的多制式网络或者业务类型的差异化网络能力传输要求无法有效传递到基站侧,最终导致业务端到端性能无法保障。

在接入网络层面,垂直行业现场为了满足不同类型终端的接入与传输需求,网络呈现出接入制式多样化(5G、4G、Wi-Fi、BLE 等)、传输模式差异化(光纤、有线等)等多质异构的特点,导致行业接入网在组网架构设计、运营运维、系统升级等多个维度存在巨大困难;同时,烟囱式的行业接入网络建设模式,割裂了不同应用之间在数据传输层面的高效共享,使得 AI、大数据等相关技术能力无法充分发挥,因此如何构建一张全连接的行业专用接入网是驱动行业数字化转型的关键。

在 E2E QoS 保障层面,当前的系统架构设计中接入网络(比如 5G、Wi-Fi 等)与算力相互独立的 SLA 保障机制,导致网络与算力的资源分配缺乏有效的联合处理能力,无法保障从接入终端

到云计算之间,以端到端 SLA 为目标的业务要求,比如远程医疗(时延 <20 ms,速率 >100 Mbit/s)等;因此,以业务 E2E QoS 为目标,从传输/计算/安全等维度深度融合,构建云网融合、算网一体的系统架构与算法,驱动行业数字化转型。

3.2 5G 行业技术趋势

3.2.1 基于 SLA 的行业组网优化技术

为了使能垂直行业场景中不同业务或者设备能够通过 5G 网络提供服务,必须对传统单一的组网模式进行改变,以保障用户在 5G 网络的移动过程中始终可以保持稳定的 SLA 能力。首先,组网方案需从传统的基于 RSRP 或者参考信号接收质量(reference signal receiving quality, RSRQ)的模式向基于 SLA 的模式进行转变;其次,需要考虑其他网络制式的融合处理,包括 Wi-Fi、有线、蓝牙等。

为了实现上两点目标,首先需要构建具体垂直行业场景(如医院或者工厂)的信道散射模型(包含大尺度信息与小尺度信息),解决传统组网优化模型中使用自由信道传播模型而导致的仿真评估与现场实施差异化较大等问题。目前,信道建模有基于统计的结构因果模型(structural causal model, SCM)模型和基于地图的射线跟踪模型,SCM 统计模型不具备实际部署意义;基于地图的射线跟踪模型实现复杂度极高,不具备现场组网分析的条件。因此,需要研究基于 AI/ML 等方法实现快速、准确地构建真实环境中的信道散射模型,以满足对现场组网架构的总体研究与仿真分析。

同时,需要对当前系统中的组网优化算法进行调整,需要考虑 RSRP、RSRQ、调制与编码策略(modulation and coding scheme, MCS)以及信号与干扰加噪声比(signal to interference plus noise ratio, SINR)等多类型指标,并结合具体业务模型(FTP、视频和 Web 等)和接入网络类型(5G、Wi-Fi 等)构建综合组网优化理论模型;当前,虽然有很多文献给出融合多参数的优化理论模型,

但未与 MEC、具体业务模型、接入网络类型相结合,无法保障业务端到端 SLA 服务提供能力。因此,在组网优化模型的后续研究过程中,需重点关注融合无线指标、接入网络制式、MCS 以及业务模型的组网优化模型,保障垂直行业业务场景中 SLA 端到端服务能力保障。

3.2.2 全连接行业接入网络融合技术

为了最大化复用现有的 4G、5G、Wi-Fi 等通信协议,实现行业现场网络的全连接能力,提出了基于超宽频天线的全连接无线专网技术以及基于 IP 层的全连接多网融合管理技术,以医疗行业应用场景为例,医疗全连接多网融合管理技术架构如图 2 所示。其中全连接无线专网技术应用于院内多类型终端的连接,而全连接多网融合管理技术则应用于院内/院外/院间多平面网络的综合管理(接入/鉴权等)。

利用 RF 射频天线的超宽带 700 MHz~6 GHz 的支持能力,通过频分复用(frequency division multiplexing, FDM)的方式承载不同制式的射频信号(比如 5G 频段为 2.6 GHz/3.5 GHz/4.9 GHz, Wi-Fi 频段为 2.4 GHz/5 GHz, 蓝牙频段为 2 GHz, LoRa 频段为 700 MHz 等),从而实现一张无源射频网络以满足不同制式的接入需求,并保持不同频段不同制式网络的任意扩展,减少行业现场网的施工难度与维护难度;同时,为了解决不同制式发射功率谱密度差异而导致的覆盖范围不同,需对不同制式的发射功率谱进行精细化管理;另

外,由于不同制式在时域上帧结构的巨大差异性,需通过物理滤波器的设计来解决不同制式之间的互干扰问题。

利用多网融合管理技术,提供针对不同院内/院外/院间等多平面专用网络的统一接入管理、泛在网络能力开放管理、可编排的分权分域管理能力;同时,借助其提供的基于多路径 TCP(multipath TCP, MP-TCP)的多链路传输能力,使能业务数据可通过不同制式的接入网络到达终端,从而改变单一制式存在覆盖盲区、部分区域数据传输速率不满足要求等导致的业务端到端 SLA 性能无法保障的问题。但随着多制式现场行业网融合机制的不断演进,比如有条件的多制式网络互切换、资源联合调度等技术的引入,可有效促进 3GPP 与 non-3GPP 从物理层到网络层的高效整合,一套网络一套架构满足行业现场全连接需求。

3.2.3 高带外 OOB 抑制技术

5G 在垂直行业的应用场景中,根据对电磁干扰的需求不一样,可分为一般性场景和电磁敏感性场景。以医疗场景为例,其中一般性场景,指的是对电磁干扰无特殊要求的场景,如医院的门诊大厅、普通病房、医院后勤管理等;电磁敏感性场景,指的是对电磁干扰要求及其严格的场景,在医院的一般处理过程中,都使用铅墙来防护电磁干扰与电磁辐射,如手术室场景、重症监护室场景、核磁共振、高精度病理扫描场景等。针对提及的电磁敏感性医疗场景,基于中华人民共和国医药行业标准

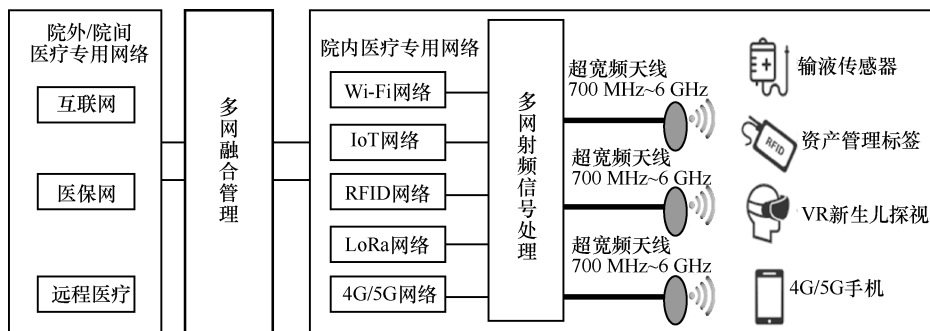


图2 医疗全连接多网融合管理技术架构



YY 1079-2008《心电监护仪》，分析了心电监护仪医疗设备的前端信号功率谱密度与 5G 通信信号的带外泄漏干扰，5G 信号泄漏干扰与医疗器械接收信号对比如图 3 所示。从图 3 可以看出，心电监护仪高精度医疗设备的前端信号功率谱密度都远低于 5G 信号的带外泄漏干扰，其前端的输入信号功率谱密度为 -63 dBm/MHz ，而 5G 信号的带外泄漏干扰功率谱密度为 -30 dBm/MHz ；在这种情况下，对于医疗设备的信号处理带来极大的干扰影响，在 5G 信号的影响下，医疗设备的前端接收信号的信噪比 SINR 为 -33 dB ，使其无法正常解调。

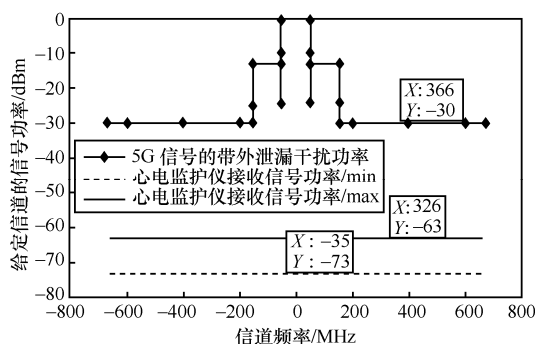


图 3 5G 信号泄漏干扰与医疗器械接收信号对比

因此，针对现有方案在医疗业务场景应用中存在的典型问题，需要从终端侧与网络侧进一步提升带外干扰抑制能力并对现有方案进行增强，

在具体的实现方式中，可考虑包括引入超低发射功率等级、带外干扰主动对消、定向带外干扰抑制以及高带外抑制频谱模板等多种技术方向，以满足一般性医疗业务场景与电磁敏感性医疗业务场景下的通信，以及与医疗设备的共存的需求，从而推动 5G 在全医疗场景下的普适应用。

3.2.4 上行 MBS 多缓存调度技术

在现有 5G 标准协议定义的基于 BSR 的上行 PUSCH 调度传输机制之上，通过引入多缓存调度 (multi-buffer scheduling, MBS) 以使能基站识别 CPE 后端接入的网络类型或者业务类型，从而满足通过 CPE 的差异化业务需求能够得到端到端的 SLA 保障，5G CPE MBS 机制设计如图 4 所示。

CPE 上报所连接的多个后端网络或者业务的上行数据缓存状态，以及传输能力需求 (比如速率、时延、丢包率等)，以帮助基站根据 CPE 所连接网络的能力快速完成调度策略的制定，并在下行的 PUSCH 调度信令下行控制信息 (downlink control information, DCI) 中，指示 UE 上行多业务数据 Buffer 或者通道的调度策略，以保障接入 CPE 的多个网络或者业务的端到端 SLA 性能保障。图 2 中，CPE 承载了 IoT

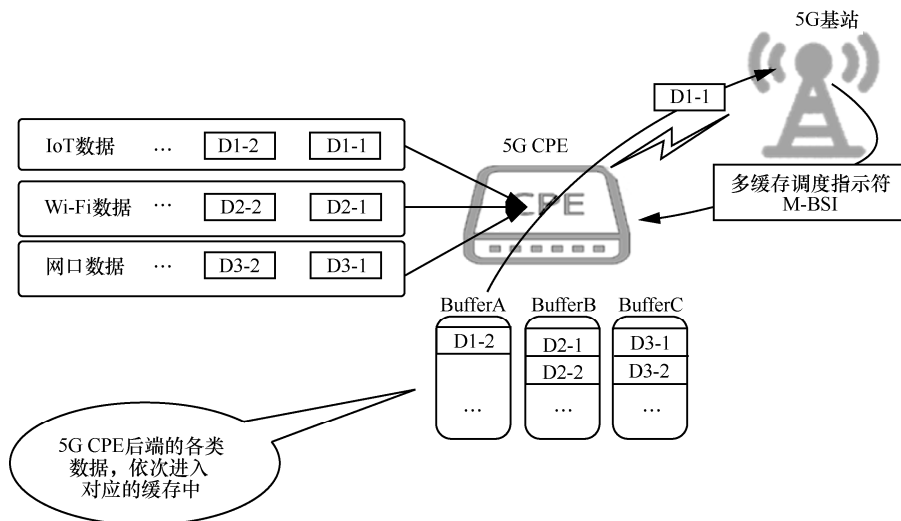


图 4 5G CPE MBS 机制设计

网络、Wi-Fi 网络、有线网络的数据并转换为 5G 信号接入 5G 网络,在 MBS 多缓存调度策略中,首先在 CPE 侧定义了多个缓存——BufferA、BufferB、BufferC 以分别对应 IoT、Wi-Fi、有线传输网络,并在现有的 BSR 机制中将 BufferA~BufferC 上报给基站,基站根据获得的 Buffer 信息并依据接入网络对性能的要求,完成上行 PUSH 的资源调度以及给出 CPE 侧 BufferA~BufferC 的合成策略,并在下行 DCI 信令中传输给 CPE;CPE 依据 Buffer 合成策略完成数据合并并在指定的频谱资源上完成数据传输。

3.2.5 算力网络技术

在行业数字化转型过程中,个人及行业对信息网络的主要需求已从以网络为核心的信息交换逐渐转变为以算力为核心的信息数据处理或者业务服务,网络作为连接用户、数据与算力的桥梁,需要与算力的深度融合,形成算网一体化新型基础设施,消除传统网络与算力相互独立而导致的、以业务为服务核心的 E2E QoS 无法保障的问题,算力网络的总体系统架构如图 5 所示。

同时,面向社会广泛的业务需求,算力网络在提供算力和网络的基础上,需要融合丰富的技术要素为用户提供多要素融合的一体化服务。结合当前技术发展趋势,算力网络融合了“ABCDNETS”八大核心要素,具体指人工智能(AI)、区块链(blockchain)、云(cloud)、大数据(data)、网络(network)、边(edge)、端(terminal)以及安全(security)。其中,云、边、端作为信息社会的核心生产力,共同构成了多层立体的泛在算力架构;网络作为连接用户、数据和算力的桥梁,通过与算力的深度融合,共同构成算力网络的新型基础设施;大数据和人工智能是影响社会数智化发展的关键,算力网络需要通过融合大数据,注入人工智能,构建算网大脑,打造统一、敏捷、高效的算网资源供给体系;区块链作为可信交易的核心技术,是探索基于信息和价值交换的信息数字服务的关键,是实现算力可信交易的核心基石;安全是保障算力网络可靠运行的基石,需要将“网络+安全”的一体化防护理念融入算力网络体系中,形成内生安全防护机制。

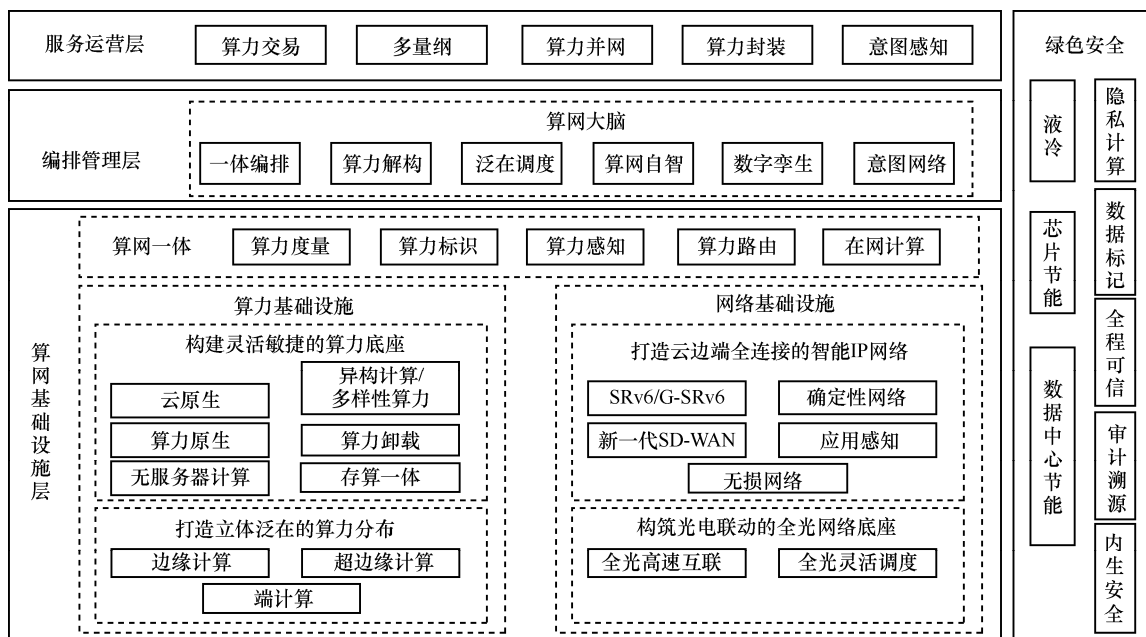


图5 算力网络的总体系统架构



4 结束语

本文详细分析了 5G 标准化研究的进展以及潜在的演进方向,并给出了每个演进方向需要进一步解决的主要问题或者潜在的解决方案;同时,基于 5G-Advanced 并结合 5G 与行业结合的深度实践,分析了现有 5G 技术在行业应用上存在的不足,并给出基于 SLA 的行业组网技术、全连接行业接入网络技术、高带外(OOB)抑制技术、多缓存调度技术、算力网络技术方向,为 5G-Advanced 后续发展以及在行业上的应用提出了新的需求并给出了潜在的实现方式。

参考文献:

- [1] ITU. Requirements of the IMT-2020 network: ITU-T Rec. Y.3101[S]. 2018.
- [2] REN H Y, SHEN J F, TANG X Y, et al. 5G healthcare applications in COVID-19 prevention and control[J]. 2020 ITU Kaleidoscope: Industry-Driven Digital Transformation (ITU K), 2020: 1-4.
- [3] TANG X Y, ZHAO L J, CHONG J, et al. 5G-based smart healthcare system designing and field trial in hospitals[J]. IET Communications, 2022, 16(1): 1-13.
- [4] 3GPP. 3GPP SA chair input to 3GPP SA/RAN/CT joint session, TSGs#93-e (e-meeting)[R]. 2021.
- [5] 3GPP. Meeting report for RAN Rel-18 workshop, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, Electronic Meeting:RWS-210660[R]. 2021.
- [6] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS); stage 2, V16.5.1: TR 23.501[R]. 2020.
- [7] 段晓东, 孙滔. 面向融合、智慧、低碳的 5G 技术演进[J]. 电信科学, 2022, 38(3): 3-9.
DUAN X D, SUN T. Towards converged, intelligent, low-carbon characterized 5G-Advanced technologies[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(3): 3-9.
- [8] 3GPP. Discussion on Release 18 MIMO enhancements, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210307[R]. 2021.
- [9] 3GPP. Uplink radio capacity, coverage & speed improvement, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210459[R]. 2021.
- [10] 3GPP. NR mobility enhancements considered for Rel-18, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210196[R]. 2021.
- [11] 3GPP. Rel-18 IAB - New use cases to enhance RAN topology, Qualcomm, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210020[R]. 2021.
- [12] 3GPP. NR smart repeaters, Qualcomm, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210019[R]. 2021.
- [13] 3GPP. Views on Rel 18 Sidelink, FUJITSU, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210290[R]. 2021.
- [14] 3GPP. RedCap enhancements, Huawei, and HiSilicon, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic Meeting: RWS-210444[R]. 2021.
- [15] 李晗阳, 翁玮文, 李男, 等. 5G NR RedCap 关键技术研究[J]. 电信科学, 2022, 38(3): 93-101.
LI H Y, WENG W W, LI N, et al. Research of 5G NR RedCap technology[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(3): 93-101.
- [16] 3GPP. NR LPHAP and other NR positioning enhancements, Huawei, and HiSilicon, 3GPP TSG RAN Rel-18 workshop, electronic meeting: RWS-210443[R]. 2021.
- [17] 3GPP. Study on enhancement for data collection for NR and ENDC, RAN#89e:RP-201620[R]. 2020.
- [18] 3GPP. Study on evaluation methodology of AI enabled physical layer enhancement, CMCC, RAN#91e: RP-210393[R]. 2021.
- [19] 3GPP. Motivation of study on radio enhancement based on AI, OPPO, RAN#91e: RP-210256[R]. 2021.
- [20] 3GPP. Study on AI/ML based air interface enhancement in Rel-18, VIVO, RAN#91e: RP-210321[R]. 2021.
- [21] 3GPP. Support of artificial intelligence applications for 5G-Advanced, ZTE, RAN#91e:RP-210614[R]. 2021.
- [22] 3GPP. On the scope of Rel-18 PHY layer enhancements using AI-based solutions, InterDigital, RAN#91e:RP-210672[R]. 2021.

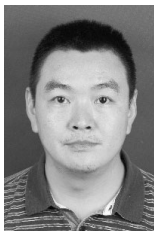
[作者简介]



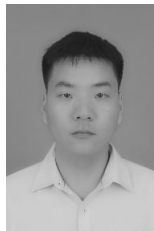
种璟(1979-),男,中移(成都)信息科技有限公司医疗产品中心副总经理、高级工程师,主要研究方向为 5G 行业云网融合、5G 智慧医疗与医疗信息化。



唐小勇(1985-),男,中移(成都)信息科技有限公司高级技术专家,主要从事 5G 无线通信基础研究工作,涵盖新空口/多天线/毫米波/信道编码/RRM 算法/核心网/边缘计算等多个前沿技术方向,同时致力于面向垂直行业的 5G 云网融合系统架构研究、产品研发与标准化工作。



朱磊（1979-），男，中移（成都）信息通信科技有限公司工程师，致力于面向垂直行业的 5G 云网融合系统架构研究、产品研发与标准化工作。



游正朋（1986-），男，中移（成都）信息通信科技有限公司工程师，致力于面向垂直行业的 5G 云网融合研究与标准化工作，主要研究方向为 5G+边缘计算。



李娜（1981-），女，博士，中国移动通信集团有限公司政企事业部医卫行业拓展部行业总监，主要研究方向为医疗信息化与 5G 智慧医疗。



胥培柯（1996-），男，中移（成都）信息通信科技有限公司 5G 研究技术员，致力于云网融合终端技术研究、CCSA 标准立项工作，主要研究方向为 5G 行业终端技术。



张钰（1988-），男，中移（成都）信息通信科技有限公司解决方案架构师，主要从事垂直行业数智化转型规划设计和信息化解决方案设计方面的工作。



刘佳（1984-），女，中移（成都）信息通信科技有限公司研发测试经理，主要从事 5G+垂直行业产品及解决方案研发工作，涵盖教育/医疗/农业/5G 行业专网等多个行业领域；同时参与面向垂直行业的 5G 云网融合系统架构研究、产品研发与标准化工作，主要研究方向为 5G 行业专网、5G 垂直行业应用测试规划。