

导读:日前负责制定 5G 通信标准的国际组织 3GPP 公布 5G 标准 Release 16(简称 R16)版本,该版本围绕着“技术方案的趋于完整”、“基础能力的持续提升”和“行业赋能的不断扩展”三个方面,对 R15 进行修订和增强,是 5G 标准走向成熟和完善的一个关键版本,必将在夯实 5G 基础设施能力的同时,极大推动社会经济的数字化转型。

为了促进 5G 通信技术交流,推动我国 5G 通信技术发展,《电子技术应用》杂志 2020 年第 10 期推出“5G R16 演进技术”主题专栏,论文内容针对 5G R16 中的关键特性和能力展开讨论,重点涵盖高可靠低时延(uRLLC)技术、时间敏感性网络(TSN)技术和 5G 节能技术等多个领域,期待为 5G 网络持续演进和发展提供有益的借鉴。



特约主编:朱雪田,北京邮电大学工学博士,教授级高级工程师,中关村国家自主创新示范区高端领军人才,现就职于中国联通研究院。长期从事 4G/5G 移动通信技术与业务创新研发工作,作为项目组长先后负责多个 4G/5G 领域的移动通信国家重大项目,发表学术论文超过 100 篇,发明专利 100 余篇,个人专著 4 本。

3GPP R16 的 5G 演进技术研究

朱雪田

(中国联通研究院,北京 100048)

摘要:3GPP R16 标准对 R15 进行增强和扩展,使得 5G 技术方案体系更加完整,技术能力体系更加完善,行业赋能体系更加完美,成为 5G 商用进程中的重要里程碑。以当前 5G 商用发展中面临的挑战作为出发点,围绕着“技术方案的趋于完整”、“基础能力的持续提升”和“行业赋能的不断扩展”三方面,对 R16 5G 演进技术的需求、特性和应用场景重点展开分析,并对 R17 后续技术演进方向进行展望。

关键词:增强型宽带通信;超高可靠低时延通信;大规模机器通信;时间敏感网络;蜂窝车联网

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.209101

中文引用格式: 朱雪田. 3GPP R16 的 5G 演进技术研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 1-7, 13.

英文引用格式: Zhu Xuetian. Research on 5G evolution technology of 3GPP R16[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 1-7, 13.

Research on 5G evolution technology of 3GPP R16

Zhu Xuetian

(Research Institute, China United Network Communications Corporation Limited, Beijing 100048, China)

Abstract: By enhancing and expanding R15, 3GPP R16 standard makes 5G technical solution system and industry enabling ability more complete and more perfect, becoming an important milestone in 5G commercial process. In this paper, based on the current 5G challenges faced in the commercial development, around the "completed solution", "improved ability" and "industry expanding" three aspects, the requirements and characteristics of 5G R16 are analysed, and R17 follow-up technology evolution direction is forecasted.

Key words: eMBB; uRLLC; mMTC; TSN; C-V2X

0 引言

每一代技术的出现必然有其革命性的进步,不但在技术上有跨式的颠覆,而且在产业上有巨大的影响力。第五代移动通信技术(5G)正在阔步前行,以全新的网络架构,提供媲美光纤的传输速度、毫秒级的传输时延和千亿级的连接能力,开启万物互联、泛在智能的新时代。日前负责制定5G通信标准的国际组织3GPP公布5G标准Release 16(简称R16)版本,R16是R15的增强和扩展,是5G标准走向成熟和完善的一个关键版本。

本文首先从当前5G商用发展中面临的挑战入手,然后围绕着“技术方案的趋于完整”、“基础能力的持续提升”和“行业赋能的不断扩展”三方面,对R16 5G演进技术的需求和特性重点展开分析,最后对R17后续技术演进方向进行展望。

1 5G 挑战和发展趋势

R15作为5G标准商用的第一个版本,无线侧在LTE基础上通过大规模天线技术解决5G数据流量的爆炸式增长需求;核心网侧引入5G服务化架构(Service Based Architecture,SBA),基于软件可定义网络(Software Defined Network,SDN)和网络虚拟化(Network Functions Virtualization,NFV)技术将网元功能微服务化,通过边缘计算和网络切片技术使得5G网络功能增减和资源配置更加灵活,从而具备赋能垂直行业的能力,达到拓展5G网络能力和应用场景的目的。R15在5G网络商用过程中依然面临的诸多挑战。

(1)5G网络基础能力亟待进一步扩展和增强

一方面,国际电信联盟无线电通信组在2017年通过ITU-R M.[IMT-2020.TECH PERF REQ]文件,明确IMT-2020 5G空口的最小技术性能指标体系。为了满足ITU的IMT-2020无线空口技术,ITU制定了详细的IMT-2020愿景需求和技术指标。基于3GPP的5G无线空口技术方案必须满足包括eMBB、uRLLC和mMTC在内的多个测试环境的所有指标要求,才能认定为ITU的IMT-2020无线空口技术。3GPP等国际标准化组织需根据指标体系制定详细的技术方案,并与仿真结果一同提交国际电联进行评估,2020年ITU-R最终批准IMT-2020技术体系。这必然要求3GPP R16版本对uRLLC和mMTC等技术标准进一步增强,与R15版本共同构建更加完整的5G技术体系。

另一方面,5G无线网络的“三高(高带宽、高速率、高频段)”特点,势必增加运营商投资成本的压力,这同样要求3GPP R16版本针对网络建设中的诸多问题进行进一步增强。具体表现在:

①高频段拉升5G网络覆盖成本,运营商也通过共建共享方式构建5G精品网络为用户提供更优质的服务的同时,以大规模天线技术、上行增强技术、高功率终

端、载波聚合、动态频谱共享等覆盖增强和室内覆盖技术也在不断演进发展;

②高速率和高带宽使得基站和终端能耗较大,如何降低电费,并提升终端待机时间是5G的持续发展的关键。除了通过7nm芯片等技术降低设备自身能耗,基站和终端节能技术以及基于大数据和AI等的智能节能技术也在逐步研发推进。

(2)5G运维亟待提升自动化和智能化水平

5G网络采用SBA架构,在网络功能扩展和配置更加灵活的同时,也使得网络拓扑和运营更加复杂。运营商亟需网络自动化和智能化手段降低网络运营和维护的成本。

一方面,云基础设施、数据中心、服务化架构等概念源于互联网和IT技术领域,传统CT领域的建设方案和经验并不完全适合;另一方面,通过将大数据和人工智能等技术引入到网络配置、优化和管理的各个环节,让网络变得更加弹性、智能和协同,实现5G网络业务体验与系统效率的双提升。

(3)5G亟待为行业数字技术解决方案夯实基础

以5G、大数据、云计算、人工智能和区块链等为代表的新一代数字技术,作为新的生产要素叠加到企业传统生产要素中,通过帮助企业实现规划、研发、生产、制造、销售和服务等环节的全面智能化升级,实现企业生产全流程的创新与重构。

以数据在企业生产和运营的每个流动环节为导向,围绕着数据的感知、传输、分析和决策等方面,新一代数字技术各负其责、协同融合,构成一个以“5G和安全”为基础保障、“云大物智”为核心能力的数字技术解决方案框架,如图1所示。

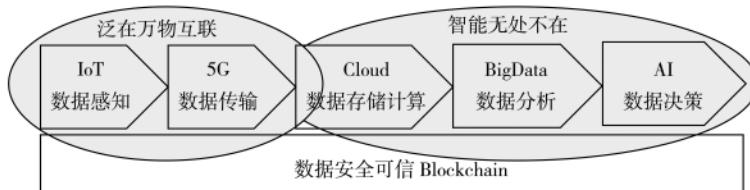


图1 数字技术解决方案框架

5G作为数字技术解决方案中承上启下的一环,一方面,面向不同垂直行业个性化需求,需要提升自身对行业解决方案的能力增强;另一方面,云大物智和区块链等新一代数字技术,与5G技术也将逐步由现阶段的5G外挂的松耦合模式向5G内生的紧耦合模式进行演进。

2 5G R16 标准化进程

2018年初,3GPP启动5G R16版本研究阶段工作,随后在2019年初进入标准制定阶段。2020年7月,5G R16功能和ASN.1冻结,并将正式发布R16系列技术规范。

R16标准重点关注三方面的主要内容:(1)技术方案

《电子技术应用》2020年 第46卷 第10期

5G R16 演进技术 5G R16 Evolution Technology

特约主编 朱雪田

的趋于完整 ;(2)基础能力的持续提升 ;(3)行业赋能的不断扩展^[1] ,如表 1 所示。

表 1 3GPP R16 主要技术特性研究

技术方案完整	基础能力增强	行业赋能扩展
超高可靠	大规模天线增强	时间敏感网络
低时延通信		
5G 蜂窝物联网	载波聚合/双连接增强	非公有网络
	移动性增强	5G 车联网
	接入回传一体化	非地面网络通信
...	终端节能	5G 定位增强
	服务架构增强	网络智能化
	远端干扰管理/交叉链路干扰	...
		...

3 R16 重点特性和能力演进

针对 5G 网络商用中的挑战和发展需求 ,R16 在增强 5G 网络基础能力的同时 ,面向垂直行业能力进行积极拓展 ,使得 5G 标准向着更加完整、完善和完美的目标进行演进。

3.1 更加完整的 5G 技术方案体系

R16 在 eMBB 技术体系的基础上 ,通过 uRLLC 标准增强 ,为构建高可靠性低时延的数据传输网络奠定坚实基础。同时 ,基于现有的 NB-IoT 和 eMTC 的蜂窝物联网技术 ,通过对 5G 核心网能力的扩展 ,实现对 mMTC 场景的支持 ,使得 5G 技术方案体系更加完整。

3.1.1 超高可靠性低时延通信(ultra Reliable and Low Latency Communications, uRLLC)

uRLLC 作为 5G 三大典型应用场景之一 ,广泛存在于多种垂直行业应用场景中 ,备受业界关注 ,可以广泛使用在工业自动化、电力差动保护、分布式能源调控、车辆与网络通信和基于云的虚拟现实(Virtual Reality, VR)/增强现实(Augmented Reality, AR)等业务 ,从而成为 5G R16 版本最为重要的特性。超高可靠和超低时延是一对矛盾综合体 ,不可能通过单一技术全面达到 ,需要依靠网络各个环节的共同增强实现两者兼顾。3GPP R15 版本中完成了 uRLLC 的部分基础功能标准制定 ,一方面 ,通过更大的子载波间隔(numerology)、短时隙(mini-slot)、快速 HARQ-ACK 和预调度技术 ,降低 uRLLC 数据时延 ;另一方面 ,通过的低码率信道质量指示(Channel Quality Indicator, CQI)/调制解调方案(Modulation and Coding Scheme, MCS)表格的分组数据汇聚协议(Packet Data Convergence Protocol, PDPCP)复制传输等技术 ,支持更高可靠性。R16 在 R15 版本基础上 ,针对 uRLLC 新的应用场景 ,向着更高的可靠性(10^{-6})和更低的时延(0.5~1 ms)的目标进行增强 ,主要包括^[2] :

(1)低时延增强 :通过提升短周期的检测能力、支持一个时隙内多个物理上行控制信道(Physical Uplink Control Channel, PUCCH)进行 HARQ-ACK 反馈、支持一个带宽

子集(Bandwidth Part, BWP)内多个激活的上行免调度传输配置、支持调度时的跨时隙物理上行共享信道(Physical Uplink Shared Channel, PUSCH)资源分配和动态指示等增强技术 ,有效降低时延。

(2)可靠性增强 :引入紧凑的下行控制信息(Downlink Control Information, DCI)格式 ,实现 PDCCH 信道可靠性的增强 ;通过支持短时隙级的重复传输 ,并将重复次数最大可配置为 16 ,实现对 PUSCH 可靠性增强 ;此外 ,通过支持最多 4 个无线链路控制(Radio Link Control, RLC)实体的 PDCP 重复、基于多点协作的 PDSCH 传输等技术以及针对业务性能管理需求制定 QoS 监控功能 ,大幅提升 5G NR 的可靠性。

(3)与 eMBB 业务共存机制增强 :支持 UE 同时构建两个不同物理信道优先级的 HARQ-ACK 码本 ;定义物理层优先级实现上行时域重叠信道的复用或优先处理 ;引入上行取消指示(Cancel Indication, CI) ,支持上行 uRLLC 业务抢占 eMBB 业务占用的资源 ;增强上行功控机制 ,支持提升 uRLLC 业务的传输功率等。实现终端多种业务共存/复用定义多种场景下的同信道碰撞时的优先级和抢占规则 ,保证 uRLLC 业务传输的可靠性。

3.1.2 5G 蜂窝物联网(5G Cellular Internet of Things, 5G_CIoT)

作为 CIoT 核心技术的窄带物联网(Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)和增强型机器通信(enhance Machine Type Communication, eMTC) ,3GPP 在 R13 和 R14 阶段已经完成基于 4G 核心网 EPC 的标准制定。R16 重点解决基于 EPC 的 CIoT 特性到 5G 核心网 5GC 的迁移和适配 ,以支持 NB-IoT/eMTC 终端接入 5GC。主要特性增强包括^[3] :

(1)应用场景扩展 :支持 NB-IoT/eMTC 与 5G NR 共存部署、支持 NB-IoT/eMTC 接入 5GC ,通过控制面与数据面的优化增强 ,实现向 5G 的架构演进、支持与 GSM 等其他无线接入技术的 NAS 层互操作 ,加速传统物联网向 CIoT 的演进。

(2)性能增强 :支持 NB-IoT 终端的专用非连续接收(Discontinuous Reception, DRX)技术 ;通过上行资源预配置(Preconfigured Uplink Resources, PUR)对 NB-IoT/eMTC 的数据提前传输(Early Data Transmission, EDT)特性进行增强 ;在 R15 基础上引入面向终端群组的唤醒信号(Group Wake-Up Signals, GWUS) ;支持通过单个 DCI 实现两个以上的传输块调度等特性 ,从而进一步减低了终端功耗和传输时延 ,并提升了传输效率。

3.2 更加完善的 5G 技术能力体系

R16 针对 5G R15 商用中存在的诸多不足 ,在大规模天线、接入回传一体化基站、移动性管理、终端节能等多个方面进行了修订和增强 ,从而为 5G 构建了更加完善的 5G 技术能力体系。

3.2.1 大规模天线技术增强

更高阶调制方式与更高效编码方式对于提升系统容量逐步乏力,MIMO 技术的重要性不可替代。从 3GPP R8 到 R16,4G 和 5G 的每个标准化版本都在对 MIMO 的性能持续增强。

Massive MIMO 在 R16 中增加用于网规网优领域的 L1/L3-CSI-RS SINR 上报,并支持多点传输和更加强大的波束管理能力,这都是后续需引入商用的重要特性,包括:

(1)MU-MIMO CSI 增强:空频双域压缩降低反馈开销,并扩展 Type II 码本支持最高 4 层传输,实现对开销与性能的兼顾。

(2)多点协作传输:通过对下行控制信道 PDCCH 的增强,在理想回传和非理想回传场景下,实现利用多个传输点资源提升边缘用户速率;同时,利用空间相关性较弱的多点进行冗余信息传输,克服阻挡效应,增加 eMBB 边缘用户速率,提升 URLLC 可靠性。

(3)上行满功率发送:对于天线间的相干传输能力为非相干或部分相干的 UE,在低秩环境中 R15 版本不支持 PUSCH 信道的满功率传输,从而影响到网络边缘的覆盖能力。R16 通过修改功率控制规则和上行码本子集的限制,UE 实现基于码本的 PUSCH 满功率发送,从而实现上行覆盖的增强。

(4)低峰均比的参考信号设计:R16 在考虑后向兼容性的前提下,通过对 PDSCH/PUSCH 参考信道信号设计,实现导频和数据部分的峰均比 PAPR 基本一致,保证系统吞吐率和用户覆盖。

3.2.2 移动性增强

R15 支持基于终端测量报告的基本切换机制,R16 进一步围绕减少切换时延和提升切换的鲁棒性方面继续增强,适用于高铁、高速等相对明确路线,且对切换时延要求极高的场景,主要表现在:

(1)双协议栈(Dual Active Protocol Stack,DAPS)切换技术:对于特定业务可以实现 0 ms 中断时延。通过引入 DAPS 技术,永远只有一个 RRC 实体,且 DAPS 切换失败后,允许回落到源小区;按承载级别配置,每个 DAPS PDCP 实体包含两套安全和压缩处理单元,分别对应各自的 RLC/MAC。

(2)条件切换(Condition HandOver,CHO)技术:切换命令允许配置多个候选目标小区和相应的触发条件,UE 满足条件后自行切换,避免控制面中断。对于弱覆盖或小区边缘等异频切换场景,CHO 降低切换失败概率,提升移动鲁棒性;对于高铁等快速移动且目标小区明确的场景,降低切换中断时间,提升用户体验。

(3)基于 T312 的快速切换失败恢复:针对弱覆盖等切换失败场景,当 UE 检测到服务小区不同步并触发 T310 后,如果检测到切换事件满足触发时间(Time to Trig,

TTT),则会启动 T312 并发送测量报告,如果 T312 超时而 T310 仍在运行,则 UE 立即触发切换失败恢复,执行 RRC 重建过程,达到更快恢复连接、减少业务中断时间的目的。

3.2.3 终端节能增强

5G 具有的大带宽、高速率和多天线的特点,使得终端功耗较之 4G 大幅提升。R15 中的 UE 支持 DRX 和带宽变换(Carrier Bandwidth Part,BWP)等节能技术。R16 通过多种技术基于统一功耗模型的性能评估结果,进一步增强终端的节能能力,支持终端性能和节能自适应,主要表现如下:

(1)DRX 自适应:改变 R15 DRX 周期性唤醒流程,通过基于 PDCCH 的唤醒信号用来指示终端是否在对应的 DRX 周期内唤醒进行下行控制信道检测。由于 UE 在无数据状态下始终处于休眠,从而可以带来 8%~50% 的节能增益,但同时也造成时延增加^[3]。

(2)跨时隙调度增强:基站通过动态信令(DCI format 0_1/1_1)指示 PDSCH/PUSCH 调度的最小时隙偏移值,UE 接收 PDCCH 之后,在最小偏移值之前的时间内不必缓存数据,兼顾时延和终端能耗。

(3)MIMO 层数限制增强:根据激活 BWP 配置的最大 MIMO 层数,UE 可以关闭部分接收天线,降低能耗。

(4)UE 辅助上报增强:通过 UE 辅助信息可以向基站反馈期望的配置,包括 DRX 参数配置、MIMO 参数配置等,并支持 RRC 连接态的快速释放。

(5)RRM 测量放松:处于空闲态和非激活态的终端,当处于低速移动或小区中心位置情况下,可以减少对同频/异频邻区的频繁测量。

3.2.4 接入回传一体化(Integrated Access and Backhaul, IAB)

IAB 是集成了接入和中继回传功能的基站,是 4G Relay 中继技术在 5G 体系下的实现。通过无线回传实现对光纤有线传输的替代,解决光纤铺设难度大、周期长和成本高的问题,并达到提升覆盖、增加容量和改善深度覆盖的目的,尤其适合于毫米波基站等热点区域中无线回传需求大的密集部署场景。

Rel-16 IAB 的主要技术方案包含基于 L2 架构的协议栈,原有 RLC 层上定义了适配子层(Backhaul Adaptation Protocol,BAP),提供路由、承载映射、链路控制、流量控制等功能;IAB 节点对其子节点或下属 UE 提供基站的接入或回传服务;IAB 节点通过回传链路连接到其父节点。支持有限的跳数(主要考虑 1~4 跳以内的场景);为简化无线链路管理,仅支持有限的移动性。

3.2.5 远端干扰管理 (Remote Interference Management, RIM)/交叉链路干扰(Cross-Link Interference, CLI)

TDD 系统通过设置保护间隔(Guard Period,GP)避免干扰,从而实现上下行时分复用。由于大气波导效应的

影响,在特定区域和特定时间段内,相距数百公里的基站之间依然易于发生强烈的远端干扰,造成上行链路质量下降。5G NR 在 R16 针对远端干扰管理引入远端干扰管理参考信号(RIM-Reference Signals, RIM-RS)和回程链路之间的交互机制,用于干扰基站与被干扰基站之间的相互识别与确认,干扰源侧可以自行选择时域、频域、空域等规避方案,包括下行数据降功率调度、禁止部分时隙或符号的调度、帧结构调整,增大 GP 保护等措施。

交叉链路干扰的规避有利于实现 TDD 系统灵活双工部署。R16 定义了交叉链路干扰的接收信号强度(Cross-Link Interference-Received Signal Strength Indication, CLI-RSSI)和探测参考信号接收功率(Sounding Reference Signal-Reference Signal Receiving Power, SRS-RSRP)等测量机制,实现对 CLI 的指示和检测,并通过上下行配置的交互等网络协调机制为干扰规避提供支持。

RIM/CLI 作为新的干扰检测与规避技术,为未来动态 TDD 资源配置奠定基础。

3.2.6 其他

(1)SMF 与 UPF 拓扑增强(Enhancing Topology of SMF and UPF in 5G Networks, ETSUN):拜访地新增 I-SMF 作为协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)会话控制的中转节点,终端跨省移动过程中通过插入/切换 I-SMF,与锚点会话管理功能(Session Management Function, SMF)配合保证业务连续性。

(2)两步随机接入过程:R16 将 R15 随机接入过程从原先的 4 步简化为 2 步,从而减少信令开销的同时,适用于对接入时延要求较高的场景。

(3)载波聚合(Carrier Aggregation, CA)增强:R16 在新增更多载波组合的同时,支持 CA 小区间帧边界不对齐的异步部署场景,并对不同参数集的跨载波调度、辅载波的快速激活机制和上行容量进行增强。

(4)动态载波共享(Dynamic Spectrum Sharing, DSS)增强:R16 支持更大带宽的动态载波共享,并针对 R15 中 5G NR 额外开销较高、容量受限于控制信道的问题,通过控制信道优化解决容量瓶颈,减少规避干扰开销,提升了频谱利用率,更加适合 4G 与 5G 带宽共享。

(5)服务架构增强(enhanced Service-based Architecture, eSBA):引入新的网络功能服务通信代理(Service Communication Proxy, SCP)提供路由策略和管理统一管理功能,实现业务和路由的功能分离,使得网络架构更加轻量化和灵活化;支持网络功能集和服务集机制,在设备出现故障时可无缝切换到备用设备,实现用户无感知。

(6)5G 固移融合(与 WiFi 等非 3GPP 技术融合):支持可信的非 3GPP 接入网、可信的 WLAN 网络以及有线网络接入 5GC、通过固移融合实现有线电视业务等光纤无法部署的家庭场景应用。

(7)网络切片增强:新增支持 4G 到 5G 切换过程中

的切片选择和基于切片的鉴权流程,适用于网络切片场景下的业务连续性和高安全要求场景。

3.3 更加完美的 5G 行业赋能体系

面对 5G 行业数字化解决方案的需求,5G R16 在车联网、时间敏感网络、5G 局域网、非公有网络和网络智能化等方面持续演进与发展。

3.3.1 车联网增强(enhanced Vehicle to everything, eV2X)

R14 和 R15 的 LTE-V2X 重点支持车联网的基本安全业务,R16 5G V2X 则主要面向高级车联网应用,包括编队行驶、传感扩展、高级驾驶和远程驾驶等,并提出更加严苛的通信需求。R16 在车与网络通信(Vehicle to Network, V2N)的基础上,支持车与车(Vehicle to Vehicle, V2V)和车与基础设施(Vehicle to Infrastructure, V2I)直连通信,并新增基于 NR 的直通链路(Sidelink)^[4]。

Sidelink 支持 V2X 通信的广播、组播和单播通信方式;支持组播和单播的 HARQ 反馈,提高传输的可靠性;支持 2 层 MIMO 的传输和 CSI 反馈,提高传输的速率;支持基于 S-SSB 的 sidelink 同步机制,从而实现 V2X 通信的全覆盖;支持两种资源分配的方法,包括基站辅助的 sidelink 的资源分配方法(mode 1)和终端自发的基于感知的 sidelink 资源分配方法(mode 2);支持通过 FDM 和 short-term TDM 的方式实现 NR sidelink 和 LTE sidelink 设备内共存等。

3.3.2 时间敏感网络(Time Sensitive Networking, TSN)

工业控制网络具备有界时延和抖动、高可靠性特征,为了达到通过 5G 构建工业控制网络的目的,5G R16 在 URLLC 标准基础上扩展支持 IEEE 802.1AS 时钟同步机制、802.1Qbv 门限控制机制^[5]和 802.1Qcc^[6]TSN 管理机制等协议,具备构建端到端的确定性传输和时间特征感知的能力,从而广泛应用于工厂智能制造、智能电网和本地的多媒体控制系统。主要特性如下^[7]:

(1)TSN 与 5G 架构融合:5G 系统作为透明传输的网桥被集成到 TSN 网络中,通过位于 5G 边缘的终端侧转换器(Device Side TSN Translator, DS-TT)和网络侧转换器(Network Side TSN Translator, NW-TT)支持/执行 IEEE 802.1AS 协议功能,实现 TSN 系统与 5G 系统之间用户的交互。5G 网桥架构如图 2 所示。

(2)时钟同步机制:为了实现 TSN 同步机制,整个端到端 5G 系统可看作是一个 IEEE 802.1AS 时间感知系统。其中,5G 系统内部通过 5G 主时钟实现内部节点的同步,而 TSN 时钟传递则是通过 NW-TT 和 DS-TT,基于广义时钟同步协议(generalized Precision Time Protocol, gPTP)和时间戳等 IEEE TSN 协议,实现 5G 与 TSN 主时钟的转换与时间计算,并达到授时精度 10 ns 级。

(3)QoS 控制:5G DS-TT 和 NW-TT 支持 802.1Qbv 的存储转发机制,TSN 业务流的服务质量(Quality of Service, QoS)需求将由时延敏感 GBR(Guaranteed Bit Rate)保障。

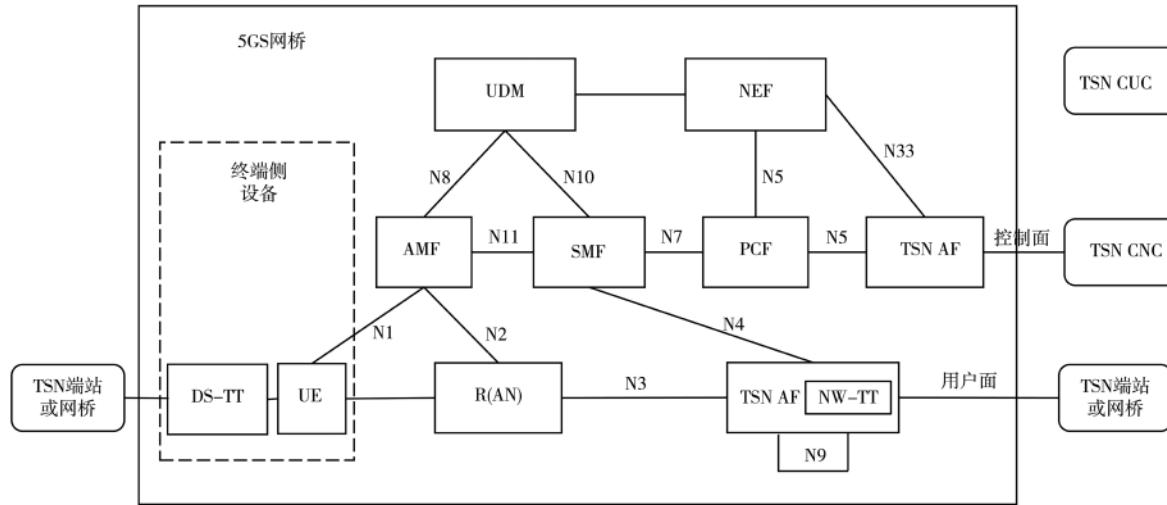


图 2 5G 网桥架构

此外, R16 为了 NR 空中接口以太网帧的传输效率,降低无线传输时延,还引入工业控制类小数据包太网头压缩(Ethernet Header Compression, EHC)等技术。

TSN 网络目前还处于研究阶段,还有很多不确定性,后续在 3GPP 依然存在继续完善的空间。

3.3.3 非公有网络(Non Public Network, NPN)

为了满足部分行业用户的区域性无线资源专享需求,3GPP 通过公网专网化技术 NPN 只为授权的行业用户提供服务,NPN 是网络切片之外移动网络拓展垂直行业的重要补充。NPN 包括独立非公共网络(Stand-alone NPN, SNPN)和非独立的非公共网络(Public Network Integrated Non-Public Network, PNI-NPN)两种类型,前者与公共网络在不同基础设施上部署,后者完全或部分依托公共网络基础设施,并依赖于网络运营商的网络功能。

PNI-NPN 网络接入控制采用闭合接入组(Cell Access Group, CAG)实现与切片选择的解耦,CAG 代表一组可

以接入一个或多个 CAG 小区的签约用户组,网络拒绝非 CAG 签约的行业终端的接入专属网络。此外,R16 还支持 NPN 业务连续性机制以及与公共网络的互联互通,支持 WiFi 或有线网络等非 3GPP 接入网络通过可信任的非 3GPP 接入网关(Trusted Non-3GPP Gateway Function, TNGF)和非 3GPP 互通功能(Non-3GPP InterWorking Function, N3IWF)接入 5G 核心网,实现对不同区域和制式网络的统一鉴权、计费和移动性管理。

NPN 使得行业用户有动力投资 5G 基础设施,参与并定制的移动通信网络的组网模式,从而以更低的成本帮助企业完成产业升级。

3.3.4 5G 局域网(5G Local Area Network, 5G LAN)

5G LAN 主要满足行业用户既可以享受 5G 网络优异性能,又能对终端灵活管理的需求,适合于工业互联网、企业办公、家居环境连接企业内网等场景。5G LAN 架构如图 3 所示。R16 启动 5G LAN 的标准制定工作,

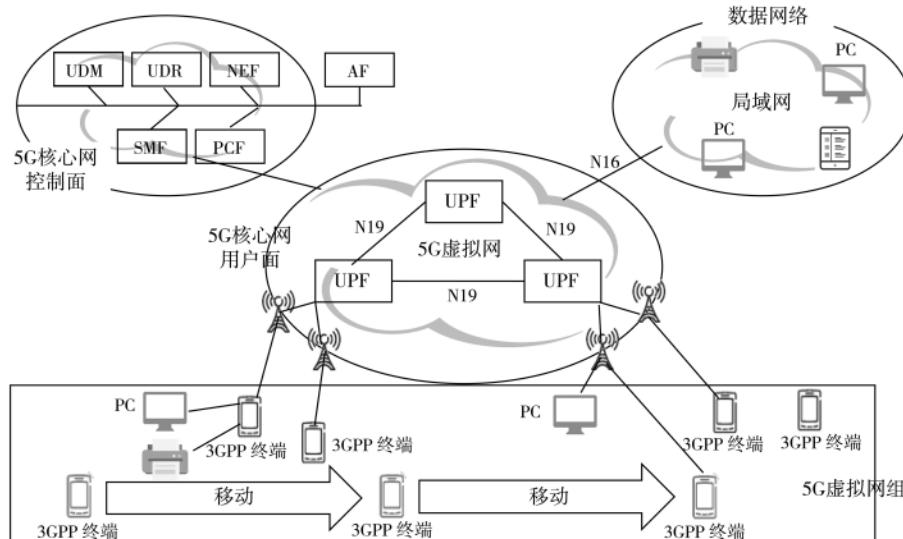


图 3 5G LAN 架构

主要特性如下^[7]:

(1) 动态组管理: 支持应用功能(Application, AF)通过网络开放功能(Network Exposure Function, NEF)/统一数据管理(Unified Data Management, UDM)动态创建5G LAN组和对应的虚拟网络(Virtual Network, VN), 支持用户按需创建/更新虚拟网络的组和成员。

(2) 用户面架构增强: 除支持传统基于N6用户面架构之外, 还支持基于N19交换和基于本地转发的用户面架构。

(3) 无缝切换支持业务连续性: 支持PDU会话锚点切换的移动场景下, UE地址不变, 通过5G接入的终端可以无缝与行业内网中的应用服务器或终端互通, 保障业务连续性构建行业专属的广域局域网。

(4) 本地转发和跨UPF通信: UPF通过L2/L3数据本地交换, 支持单播和广播转发; 支持跨UPF路径管理和与存量LAN互通, 通过跨UPF数据交换, 提供广域组网。

5G LAN技术使得企业可以在广域范围内以更低的网络建设和维护成本, 构建适用于企业云办公的局域网络, 该技术对终端和基站无影响, 仅需核心网改造升级, 可作为5G网络增强技术在垂直行业网络中优先引入。

3.3.5 其他

(1) 5G定位增强(enhancement 5GC Location Services, eLCS): R16充分利用5G大带宽和多波束的特点, 通过空口定位技术实现定位精度从4G的百米级提升到米级, 应用场景更加丰富。R16在继承4G定位技术的同时, 支持采用多站往返时延(Multiple Round Trip Time, Multi-RTT)、到达时间差(Time Difference Of Arrival, TDOA)、上行到达角度测距(Uplink Angle of Arrival, UL-AoA)和下行出发角度测距(Downlink Angle of Departure, DL-AoD)等多种方案。5G定位可应用到工业自动引导小车(Automated Guided Vehicle, AGV)、资产追踪等多个领域, 逐步满足工业互联网精准定位需求。

(2) 非授权频谱(New Radio in Unlicensed Spectrum, NR-U)^[7]: 目的在于扩展5G可用频谱资源, 实现非授权频段提供NR接入服务。NR-U支持授权载波辅助(双链接和载波聚合)和非授权载波独立工作的接入方式, 使得非授权频谱在5G的部署和应用更加灵活。NR-U引入干扰检测和信道抢占机制, 包括监听避让机制(Listen Before Talk, LBT)检测和信道最大占用时长约束机制, 降低非授权载波的相互干扰和公平性; 此外, 针对非授权频谱可用频率和时间的不确定性, NR-U中上下行信道/相关过程进行了相关匹配优化和增强。

(3) 网络自优化(Self-Organized Networks, SON): 引入最小化路侧(Minimization of Drive Test, MDT)、移动鲁棒性(Mobility Robustness Optimization, MRO)、移动负载均衡(Mobility load balancing, MLB)、随机接入信道优化(RACH Optimization, RO)特性, 通过网络自动调整无线参数和配

置, 提升网络性能, 降低网络优化和维护的成本。

(4) 网络智能化(Enablers for Network Automation, eNA)^[7]: 针对5G网络智能化能力尚无法满足按需服务和网络资源高效利用的现状, 3GPP在R15引入用于数据采集、分析和反馈的网络数据分析功能(Network Data Analytics Function, NWDAF), 在R16定义基于NWDAF的5G智能网络新架构, 实现5G内生人工智能和大数据分析能力, 并涵盖业务体验增强、边缘计算和移动性管理等多个业务场景应用方案。

4 R17技术展望

R16标准的发布意味着5G技术的应用场景更加丰富, 也进一步加快了全球5G网络部署的进程。同时, 3GPP在2019年底启动了5G R17版本的技术研究和标准制定项目。R17将在R16基础上, 针对多天线技术、低延时高可靠、工业互联网、终端节能、定位和车联网技术等网络和业务能力进一步增强的同时, 也将提出多播广播、终端直接通信等新的业务和能力需求。R17主要课题包括:

(1) 52.6~71 GHz新增频段: R17将5G NR的频段范围从52.6 GHz扩展到71 GHz。

(2) 覆盖增强(NR Coverage Enhancement): 评估5G NR重耕低频段的性能、评估上下行物理信道的覆盖等, 并研究覆盖增强方案。

(3) 轻量化终端(NR Light): 在LTE eMTC/NB-IoT和NR eMBB/uRLLC终端之间的中高端mMTC, 用于工业无线传感器、视频监控、可穿戴设备的场景, 相对于NR eMBB终端, 降低复杂度、成本和尺寸。

(4) 5G扩展现实(Extended Reality, XR)评估: 对于典型AR/VR和云游戏应用, 面向边缘云+轻量化终端的分布式架构, 建模业务模型、识别关键性能指标(Key Performance Indicator, KPI)和评估, 并优化网络时延、处理能力和功耗等。

(5) 面向非地面通信的蜂窝物联网技术增强: 3GPP R16已经研究5G NR与非地面网络的融合, R17版本将进一步研究NB-IoT/eMTC与非地面网络通信(Non Terrestrial Networks, NTN)的集成, 支持位于偏远山区的农业、矿业、林业和海洋运输等垂直行业的物联网应用。

(6) NR多播和广播服务(evolved Multimedia Broadcast Multicast Services, eMBMS): R17将引入NR R15和R16不支持的5G广播多播业务。

(7) 车联网直通链路增强: R17将继续对NR路测单元的直接通信场景进行增强, 致力于优化路侧单元的功耗、频谱效率、可靠性和时延等关键性能指标。

5 结论

本文结合当前5G商用发展中面临的挑战, 对R16 5G演进技术的需求、特性及其应用场景等重点展开分析。

(下转第13页)

(2)PDCP 复制情况下支持 UL RLC 的动态选择和协调(FFS)；

(3)对主 NG-RAN 节点(M-NG-RAN)和辅 NG-RAN 节点(S-NG-RAN)的交互引入 3 个过程: S-NG-RAN 节点添加准备、S-NG-RAN 节点修改准备、启动 S-NG-RAN 节点修改。

4 结论

时间敏感网络在以太网的基础上提供端对端极低时延和高可靠性的数据传输,广泛应用于时延敏感性工业互联网场景。本文分析了 TSN 架构以及与 5G 网络系统融合部署演进,研究归纳了包括以太网头压缩、QoS 调度在内的无线侧的增强需求。最后梳理总结了 3GPP 对于 5G TSN 融合网络架构增强的标准化工作。总体而言,随着 5G 技术的发展及建设的深入,TSN 关键技术的增强以及新型网络架构的标准化工作将成为未来确定性传输网络的重点研究方向。

参考文献

- [1] 3GPP TR 38.824, study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case(URLLC)(Release 16)[S]. 2019.
- [2] 3GPP TR 22.804 V16.2.0, study on Communication for automation in vertical domains[S]. 2018.
- [3] 黄韬, 汪硕, 黄玉栋, 等. 确定性网络研究综述[J]. 通信学报, 2019, 40(6): 160-176.
- [4] NASRALLAH A, AKHILESH S, ZIYAD T. Ultra-low latency (ULL) networks: the IEEE TSN and IETF DetNet standards and related 5G ULL research[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, 21(1): 88-145.
- [5] 朱瑾瑜, 张恒升, 陈洁. TSN 与 5G 融合部署需求及网络架构演进[J/OL]. 中兴通讯技术: 1-11[2020-07-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200630.>

(上接第 7 页)

R16 标准通过对 R15 增强和扩展,使得 5G 技术方案体系更加完整,技术能力体系更加完善,行业赋能体系更加完美,成为 5G 商用进程中的重要里程碑。特别是 URLLC、NR V2X、TSN 等技术标准的增强,将会极大地促进 5G 与工业互联网、车联网等垂直行业的融合发展,从而在夯实基础设施能力的同时,也将极大推动社会经济的数字化转型。

参考文献

- [1] 3GPP TR 21.916, technical specification group services and system aspects; release 16 description; summary of release 16 work items[R]. 2020.
- [2] 3GPP RP-191584, revised WID: physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency communication (URLLC)[R]. 2019.
- [3] 3GPP RP-200293, WID: additional enhancements for NB-

1413.004.html.

- [6] 工业互联网产业联盟. 时间敏感网络(TSN)产业白皮书(征求意见稿)[R]. 2019.
- [7] 3GPP TS 23.501, system architecture for the 5G system[S]. 2019.
- [8] 王丹, 孙滔, 段晓东, 等. 面向垂直行业的 5G 核心网关键技术演进分析[J]. 移动通信, 2020, 44(1): 8-13.
- [9] 许方敏, 伍丽娇, 杨帆, 等. 时间敏感网络(TSN)及无线 TSN 技术[J/OL]. 电信科学: 1-13[2020-07-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2103.TN.20200604.1031.012.html>.
- [10] 3GPP TR 38.825, study on NR industrial Internet of Things (IoT)(release 16)[S]. 2019.
- [11] 3GPP TS 38.323 V16.0.0, packet data convergence protocol specification(release 16)[S]. 2020.
- [12] R3-202321, (TP for NR_IIOT BL CR for TS 38.423): PDCP duplication with more than 2 entities[C]. 3GPP TSG-RAN3 Meeting #107b-e, Huawei, 2020.
- [13] R3-203076, introduction of NR_IIOT support to TS 38.463[C]. 3GPP TSG-RAN WG3 #108-e, 2020.
- [14] R3-204467, NRIIOT higher layer multi-connectivity[C]. 3GPP TSG-RAN WG3 #108-e, 2020.
- [15] R3-201665, enabling coordination for DL and UL multiplication over up to 4 RLCs[C]. 3GPP TSG-RAN WG3 Meeting #107, Nokia, Shanghai Bell, 2020.

(收稿日期: 2020-07-30)

作者简介:

吴欣泽(1995-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 5G V2X 和 URLLC 关键技术。

信金灿(1994-), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向: 无线通信系统协议与技术。

张化(1994-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 移动通信技术。

IoT[R]. 2020.

- [4] 3GPP TS 23.287: architecture enhancements for 5G system (5GS) to support Vehicle-to-Everything(V2X) services; release 16[S]. 2020.
- [5] IEEE. IEEE 802.1Qbv-2015: IEEE standard for local and metropolitan area networks—bridges and bridged networks—amendment 25: enhancements for scheduled traffic[S]. 2015.
- [6] IEEE. IEEE P802.1Qcc: standard for local and metropolitan area networks—bridges and bridged networks—amendment: stream reservation protocol(SRP) enhancements and performance improvements[S]. 2015.
- [7] 3GPP TS 23.501, system architecture for 5G system; release 16, stage 2[S]. 2020.

(收稿日期: 2020-09-10)

作者简介:

朱雪田(1975-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 5G/6G 无线通信技术。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所