

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 11 期推出“5G R16 核心网演进技术”主题专栏,论文内容针对 5G R16 中的核心网关键特性和能力展开讨论,重点涵盖 5G 核心网服务化架构增强、无线和有线融合、网络切片增强技术和非公共网络技术等多个领域,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 5G 核心网标准及关键技术研究

马瑞涛,王光全,任驰,穆佳

(中国联通研究院,北京 100048)

摘要:从 2020 年开始全球大多数主流运营商已转向 5G 独立组网架构,并开始了 5G 独立组网架构的商用部署,同时随着第一个覆盖 5G 全场景业务需求的 3GPP R16 国际标准冻结,5G 核心网需要再次升级演进。根据目前 3GPP 的标准制定计划和产品路标,R17 和 R18 版本涵盖的功能将错过 5G SA 建设的高峰期,R16 版本将成为未来 3~5 年重要的商用版本,所以有必要针对 R16 标准的功能架构、适用场景和影响分析开展系统性分析和研究。

关键词:第三代合作伙伴计划;版本 16;5G 核心网;国际标准

中图分类号: TN915.8

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200993

中文引用格式: 马瑞涛,王光全,任驰,等. 3GPP R16 5G 核心网标准及关键技术研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 30-35, 40.

英文引用格式: Ma Ruitao, Wang Guangquan, Ren Chi, et al. Study on 3GPP R16 5G Core network standards and key technology[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 30-35, 40.

Study on 3GPP R16 5G Core network standards and key technology

Ma Ruitao, Wang Guangquan, Ren Chi, Mu Jia

(China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

Abstract: Since 2020, most of global main telecommunication operators have turned to 5G standalone architecture, and roll out the commercial deployment of 5G standalone architecture. In the meantime, 3GPP R16 standard which supports all 5G service scenarios was frozen. The 5G Core network needs to be upgraded and make a evolution again soon. In line with the 3GPP standard schedule and product roadmap, 3GPP R17 and R18 standard version will miss the peak period of 5G SA construction, so 3GPP R16 maybe the most nominated commerical standard version in the next 3~5 years. As a result, it is very essential to make a systematic study about 3GPP R16, especially focusing on function architecture, application scenarios and impact on network.

Key words: 3GPP; release 16; 5GC; the international standard

0 引言

作为推动通信行业发展的最重要标准组织,第三代合作伙伴计划(3rd Generation Project Partnership,3GPP)围绕5G技术已经完成了R15和R16两个重要版本,其中R15作为5G技术的第一个基础版本,支持了增强移动宽带(enhanced Mobile Broadband,eMBB)和部分超高可靠低时延通信(Ultra Reliable Low Latency Communications,URLLC)场景的需求。2020年7月初,3GPP针对5G的第二个增强版本R16正式冻结发布,R16标准完善了R15标准的关键能力,支撑了eMBB、URLLC和大连接物联网(massive Machine Type Communications,mMTC)等全场景,并特别针对垂直行业的需求进行了大量的扩展和能力增强^[1]。

R16的冻结标志着5G SA最重要版本的部署拉开序幕,根据目前3GPP确定的标准制定计划和初步产品路标,R17和R18版本的标准和产品将错过5G建设的高峰期,故R16版本将成为各运营商5G部署的主要基线版本和标准。

1 5GC 现状及特点

5G核心网(5G Core,5GC)呈现泛在接入、全云化、敏捷能力开放等特点,其主要国际标准由3GPP SA及其下属各小组制定,内容涵盖5GC的业务需求、系统架构、关键技术能力及详细流程等。

全球首批独立组网(Stand Alone,SA)网络都基于3GPP R15版本进行部署,由于R15版本为5G的第一个版本,标准的系统性、完备性和成熟度在商用网络中遇到了诸多挑战,例如:版本碎片化、功能不完备、业务融合鸿沟、架构及接口解耦不充分、原生云跃迁性演进、智能运维挑战等。

首次商用的5G SA网络主要面向eMBB业务场景,随着URLLC和mMTC等面向垂直行业需求的涌现,5G SA架构必须快速升级支持R16的全场景能力,并以全云化、全融合、全接入、全场景、全智能的网络作为中长期目标加速演进。

2 R16 标准功能增强及演进

相比于3GPP R15标准,R16重点从三个方面进行了5GC的增强和升级,主要为R15标准的能力增强和完善、新增特性的引入及面向垂直行业的系统解决方案。

2.1 能力增强

2.1.1 增强服务化架构(enhanced Service-Based Architecture,eSBA)^[2]

SBA架构对移动核心网架构进行了革命性的改造,引入全新的控制面和用户面分离架构。为构建全面云化、更加敏捷开放的移动核心网络和服务能力,SBA架构在用户面全面引入互联网通用的HTTP协议。

eSBA在SBA架构基础上新引入服务通信代理(Service Communication Proxy,SCP),功能类似于7号信令网中的

信令转接点,SCP支持路由转发和服务发现,实现HTTP链路的收敛汇聚和HTTP信令的集中路由转发,使得整个网络架构更加轻量和灵活。

eSBA支持网络功能集和服务集机制,实现当一个网元或服务出现故障时,业务马上可以被同一集内的其他网元或服务无缝接管,保障业务不受损害。

R16已定义模型A/B,但存在如下问题:客户端要自己感知每个服务器的健康状态,不能及时切换目标服务;每个服务器各自维护状态数据,数据无法共享;设备出现故障时无法及时切换到备用设备,无法做到无缝切换。

3GPP R16定义了新增通信模型,客户端无需感知服务器状态,由SCP完成消息分发^[3]。服务器之间共享状态数据,备份服务器可无缝接管业务。设备出现故障时能迅速切换到备用设备,业务无损。通信模型如图1所示。

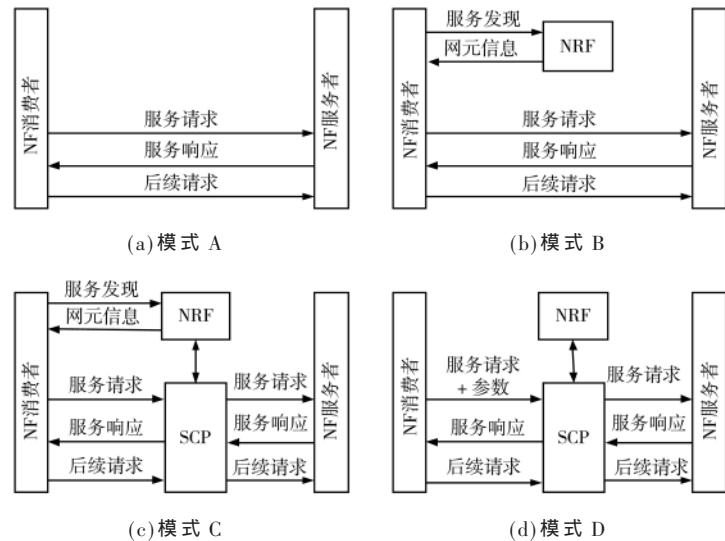


图1 eSBA架构的通信模型

2.1.2 SMF与UPF拓扑增强

在3GPP R15中一个PDU会话只能由一个会话管理功能(Session Management Function,SMF)控制,导致移动性过程发生跨多个管理域(如省/大区间漫游)时,源SMF无法直接管理目标用户面功能(User Plane Function,UPF),或者行业SMF(可以管理行业UPF)无法管理PLMN UPF等问题。

如图2所示,R16中定义了终端在跨SMF服务区移动过程中,由AMF基于用户位置判断是否插入/切换I-SMF。

通过I-SMF控制的I-UPF拉通跨域的UPF间用户面隧道^[2],实现源SMF无法管理到所有UPF的业务场景下跨域的业务连续性及归属漫游支持。

2.1.3 增强网络切片(enhanced Network Slicing,eNS)

eNS主要满足网络切片场景下的业务连续性及高安全要求场景^[2]。eNS特性主要实现以下两方面的增强:

(1)切片二次鉴权。增强支持基于特定业务提供商的

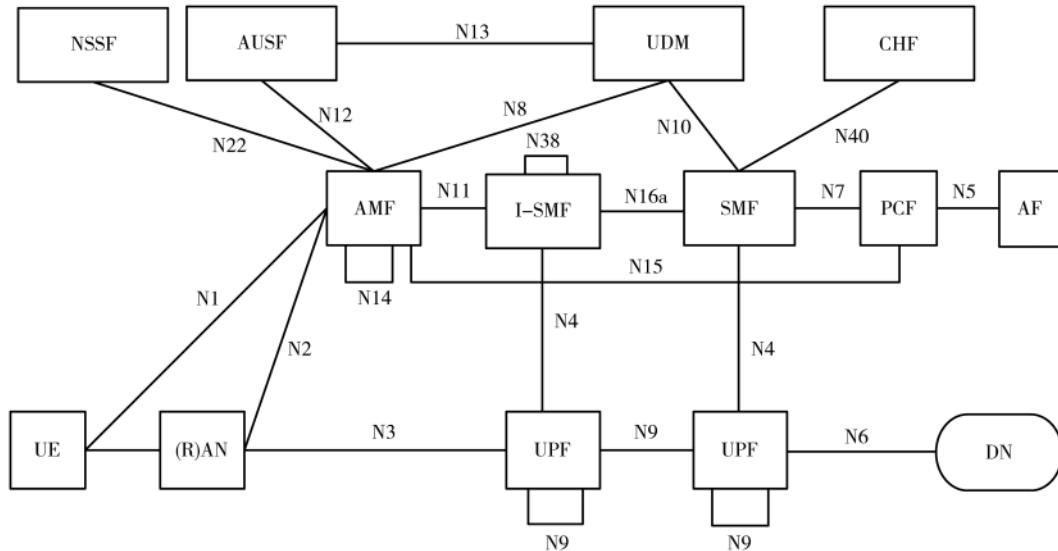


图 2 ETSUN 新增 I-SMF/I-UPF 架构图

切片认证，需第三方域内配置专用于切片二次鉴权的 AAA 服务器。

(2)4G 到 5G 切换流程增强：解决 4G 不支持切片的情况下，移动管理实体(Mobility Management Entity, MME)选择的接入管理控制(Access Management Function, AMF)可能不支持 UE 期望的切片的问题。

为支持切片二次鉴权功能，需要单独设置切片二次鉴权功能，即网络切片特定鉴权和授权功能(Network Slice Specific Authentication and Authorization Function, NSSAAF)，NSSAAF 可独立设置，也可能支持和其他网络功能(Network Function, NF)合设，如图 3 所示。

2.1.4 增强网络自动化(enhanced Network Autonomous, eNA)

5GC 中新增网络数据分析功能(Network Data Analytics

Function, NWDAF)网元^[2]，实现 5G 系统原生的人工智能及大数据分析能力。围绕 NWDAF 网络数据分析能力，驱动 5G、AI 及大数据结合，提高 5G 网络自动化管理、运营能力，推动网络和业务价值提升^[4]。

如图 4 所示，NWDAF 能够实现网络的静态及动态数据的采集、清洗、分析和输出反馈，基于个性化的算法，能够持续、全面、动态分析网络、业务甚至终端的状态，可以定向开展网络的性能分析和优化、业务路径选择、异常行为及状态检测等工作，是运营商未来开展差异化竞争并向全自动化驾驶网络演进的关键基础能力。

2.2 新特性引入

2.2.1 5G 蜂窝物联网(5G Cellular Internet of Things, 5G CIoT)^[2]

5G CIoT 主要面向中低速率(10 Mb/s 以下)、低成本、

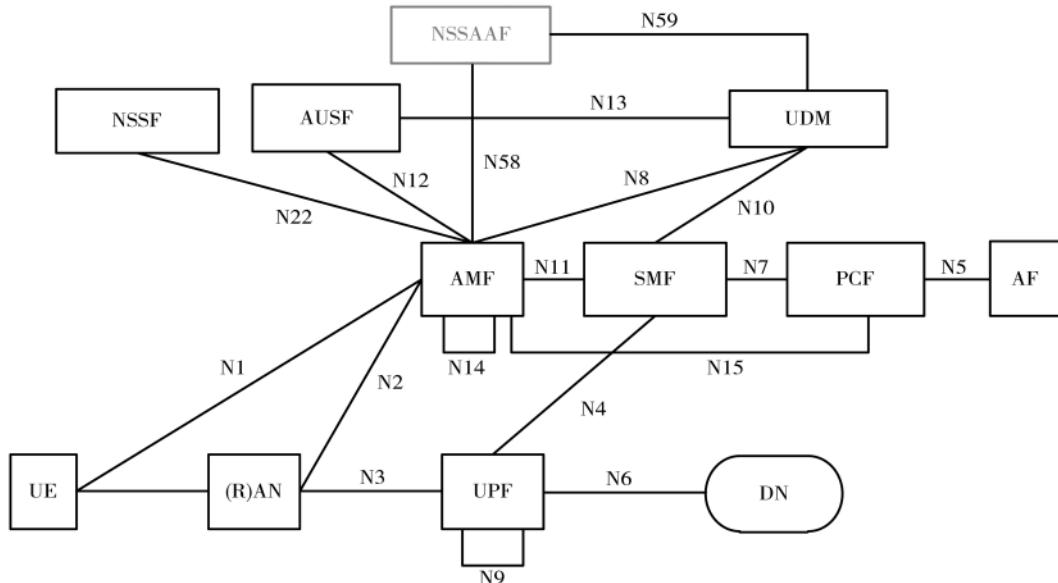


图 3 新增二次鉴权切片功能 NSSAAF 架构示意图

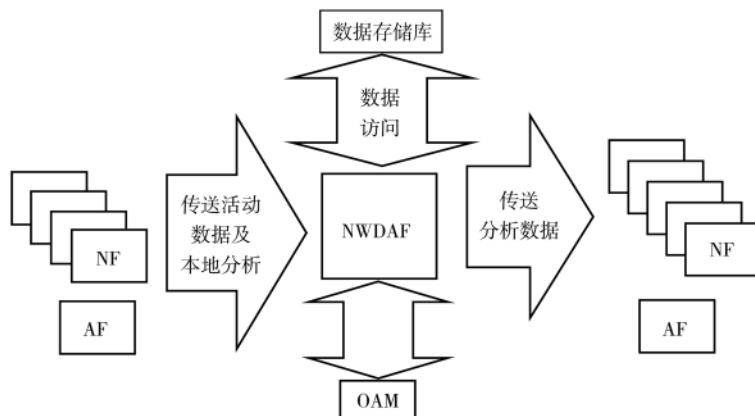


图 4 NWDAF 功能框架示意图

低功耗广覆盖场景下的小包数据业务或语音业务。

R16 实现了于 EPC 的 CIoT 特性到 5GC 的迁移和继承, 主要基于 R15 的 SA 网元功能的增强, 对 SA 端到端整体网络架构没有变动, 仍然与 R15 保持一致。满足 5G IoT 业务需求: 主要包括适配小数据传输及优化、核心网节点选择、非 IP 数据传输、可靠数据服务、覆盖增强管理等能力, 一般只需要对当前基于 R15 的 SA 网络架构中控制面网元进行软件升级即可支持 CIoT 相关功能特性。

2.2.2 无线和有线融合(Wireless and Wireline Convergence, 5WWC)^[5]

5WWC 提供了无线和有线统一接入管理的普适性方案, 通过将多种类型的有线接入网络进行适配转换后接入融合的 5GC 网络, 并提供统一的接入控制、地址管理、策略分配等能力, 为泛在接入融合及业务融合奠定了网络基础, 如图 5 所示。

通过引入可信非 3GPP 网关功能(Trusted Non-3GPP Gateway Function, TNGF)、可信 WLAN 互操作功能(Trusted

WLAN Interworking Function, TWIF)及有线接入网关功能(Wireline Access Gateway Function, W-AGF)等网关功能, 适配不同的接入类型, 匹配标准的 Ng 接口功能和参数流程, 以支持可信的非 3GPP 接入网、可信的 WiFi 网络及有线网络连接至 5GC。

2.2.3 接入流量转向、交换和分流(Access Traffic Steering, Switching, Splitting, ATSSS)

ATSSS 实现 3GPP 和非 3GPP 融合接入的情况下用户业务数据在 3GPP 接入/非 3GPP 接入(如 Wi-Fi)间的分流、转换、切换。

相比 R15 仅支持独立会话的粗颗粒的混合接入分流能力, R16 的 ATSSS 支持更细粒度的 3GPP 接入/非 3GPP 接入混合接入, 实现同时通过两个接入类型进行传输数据的业务会话, 允许将数据同时通过两个接入类型传输, 实现同一用户的同一业务会话同时通过 3GPP/非 3GPP 接入 5G 网络的能力, 如图 6 所示。

ATSSS 支持多路径 TCP 协议(Multi-Path TCP Protocol, MPTCP)及 ATSSS 低层(ATSSS Low-Layer, ATSSS-LL)两种分流方案。前者需要 UE 和 UPF 支持 MPTCP 功能, 通过 MPTCP 协议执行分流; 后者不依赖独立的协议层, 但需要 UE 和 UPF 支持执行 PCF 下达的分流策略 ATSSS Rule, 进行数据流在两个接入类型上的分发。目前存在主备、优选往返时延最短、按比例(适用于 MPTCP)和基于优先级(适用于 MPTCP)4 种分流方式。

2.2.4 增强定位服务(enhanced Location Services, eLCS)^[2]

eLCS 重点面向室内室外精准定位场景, 定位精度提升至米级或亚米级。从 5GC 角度看全面支持服务架构和架构简化, 实现定位功能的去耦合和汇聚, 提高定位信令效率, 同时更加注重用户隐私的保护。eLCS 精度的增强主要有赖于无线的更大带宽、大规模天线、更高精度同步信号及优化的定位算法算法。与传统基于时间差

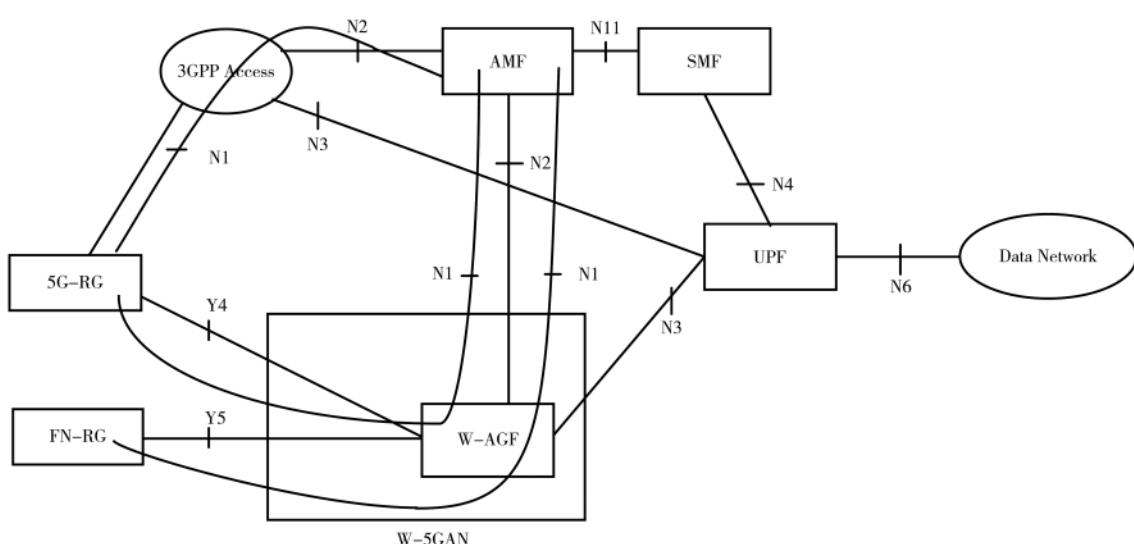


图 5 5WWC 架构示意图

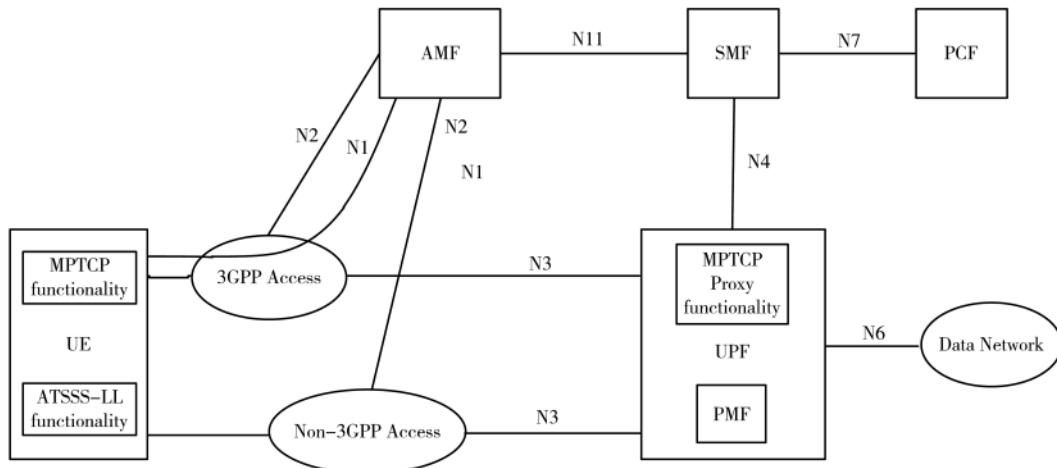


图 6 ATSSS 组网示意图

维度的定位不同, R16 中增强了角度的测量和计算维度, 使定位精度更加准确。

如图 7 所示, R16 重点对 LCS 架构进行了增强: LMF/GMLC 支持服务化、降低无效隐私开销、提升扩展性、支撑 IoT 终端定位、支持低延迟和高性能位置服务、支持位置服务开放能力等。

2.2.5 5G 单接入语音呼叫连续性 (5G Single Radio Voice Call Continuity, 5G SRVCC)^[2]

5G SRVCC 针对部分国家或地区由于 4G 无覆盖或覆盖不完善等场景下, 5G 到 3G 的语音连续性问题。

如图 8 所示, 新增用于 5G-SRVCC 的 MME_SRVCC, 可以作为一个模块和 AMF 合设, MME_SRVCC 支持 5G 到 3G 语音连续性的跨小区测量、支持语音服务从 5GS 到 UTRAN 的间接跨小区切换过程、支持 SRVCC 的 UE

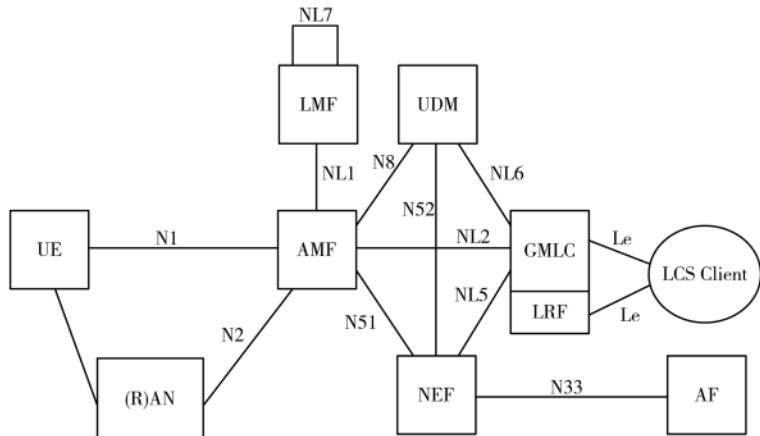


图 7 增强定位服务架构示意图

能力上报以及支持语音服务从 5GS 到 UTRAN 的无线资源管理。同时支持基于 MME_SRVCC 的两步回落, 实现 5GS 到 3G 的语音连续性。

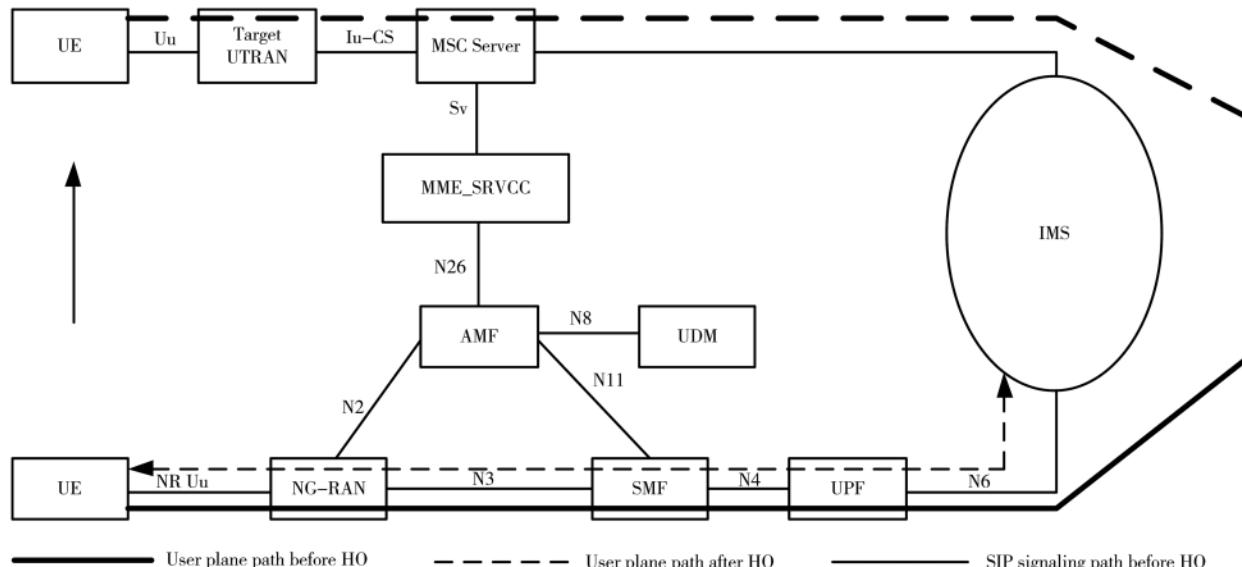


图 8 5G SRVCC 业务连续性架构示意图

2.3 垂直行业扩展

2.3.1 URLLC 增强^[1]

R16 URLLC 能支持低于 10 ms 级别的时延及 6 个 9 以上的可靠性,其特性主要通过两种方案实现基于冗余传输的可靠性保障能力:(1)E2E 冗余方案:通过用户面路径互不交叉的双 PDU 会话实现可靠性保障,如图 9 所示;(2)N3/N9 冗余方案:通过建立冗余 N3/N9 隧道实现可靠性保障,如图 10 所示。

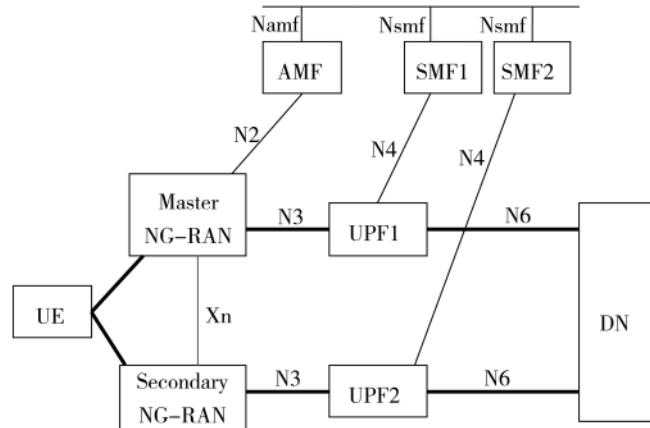


图 9 URLLC 冗余方案示意图

冗余方案主要实现冗余会话建立/关联、冗余包传送。同时定义端到端 QoS Monitoring 能力,主要包括 QoS 测量、参数下发及上报等。

2.3.2 5G 局域网(5G Local Switch Network, LAN)

为支持工业互联网、企业办公、家居环境连接企业

内网等场景需求,5G LAN 提供了基于 UPF 的二层组网模式。

5G LAN 支持由 UPF 控制并完成转发的 UE 间的点对点及点对多点通信机制,包括动态 5G 虚拟群组管理、5G LAN 业务连续性,以及本地转换和 N19 Based 两种模式的 5G LAN 业务模式,N19 模式如图 11 所示。

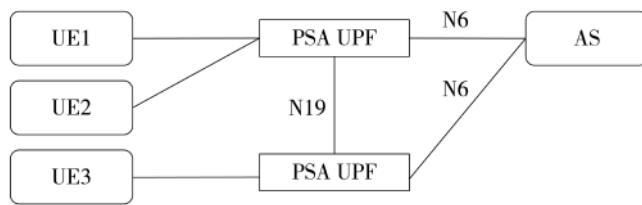


图 11 5G LAN 组网示意图

2.3.3 时延敏感网络(Time-Sensitive Network, TSN)

TSN 时延敏感网络面向工厂智能制造场景,面向柔性产品线、机器人无线控制、无线/云化 PLC 等场景。TSN 由 IEEE 定义,基于标准以太网技术提供确定性服务(即以确定的时延完成数据包的传输),并提供标准化统一的、经济的解决方案。5GS 作为网桥(Bridge)存在于 TSN 系统中,UE 侧(DS-TT)和 UPF 侧(NW-TT)完成 TSN 协议和 5GS 协议间的转换,如图 12 所示。

TSN 网络支持 TSN 业务的确定性传输和时间特征感知;支持 5G 空口授时,授时精度为 10 ns 级。

2.3.4 非公共网络(Non-Public Network, NPN)

NPN 是针对 5G 切片无法独立精准区分行业用户而提出的 5G 专用网络架构。其基于用户群组划分,构建

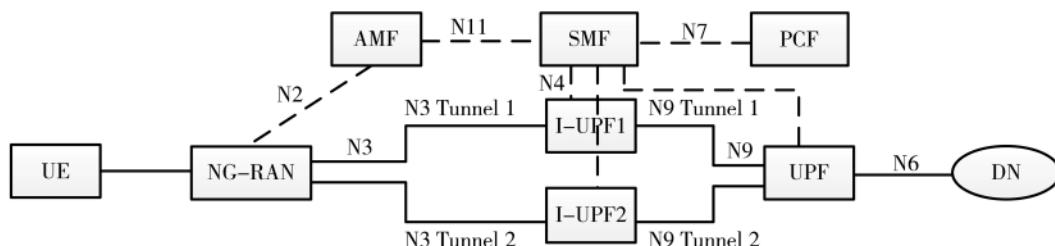


图 10 冗余 N3/N9 方案示意图

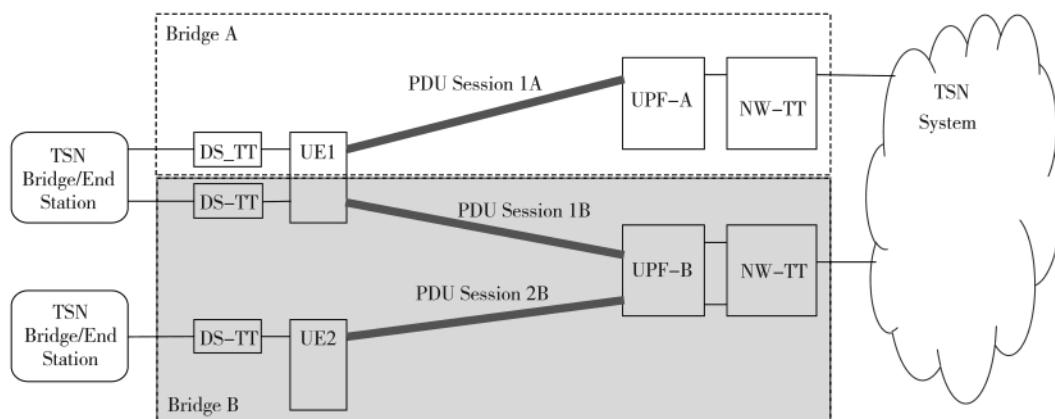


图 12 时延敏感网络与 5G 融合示意图

(下转第 40 页)

据、各站点、办公场所等的视频监控,这些系统包括一次系统、二次系统、信息系统、计量系统等,它们的监控数据等大数据的应用场景是智能电网存在的物质基础,5G的高速率可以为这些系统的运行提供强有力的支撑。

(2)数字化电网中将产生海量智能电力设备、穿戴设备等,5G的一个基础能力即是广连接,它在每平方公里可以支撑100万个移动终端,这种能力为实现万物信息互联提供了有力的支撑。

(3)5G技术具有很高的可靠性,因为在通信过程中,它的丢包率极低,该性能可以有效提升电力系统本身的可靠性。

(上接第35页)

了端到端的公网专用或专网独享网络架构,可实现一网两用。通过独立部署模式或者公网集成模式创建专有网络(非公共用途的网络),基于用户群组划分,控制专用网络只为授权的行业用户提供服务^[2]。

如图13所示,NPN网络主要分为两种形式:独立非公共网络(Stand-alone Non-Public Network,SNPN)和公网集成的非公共网络(Public Network Integrated Non-Public Network,PNI-NPN)。SNPN独立于运营商网络的专用网络,适合具有专有频谱的行业用户或高度隔离、隐私保密性高的行业用户;PNI-NPN(公网专用)基于网络切片+闭合接入组(Cell Access Group,CAG)的专用网络,适合低隔离度、广覆盖的行业用户。

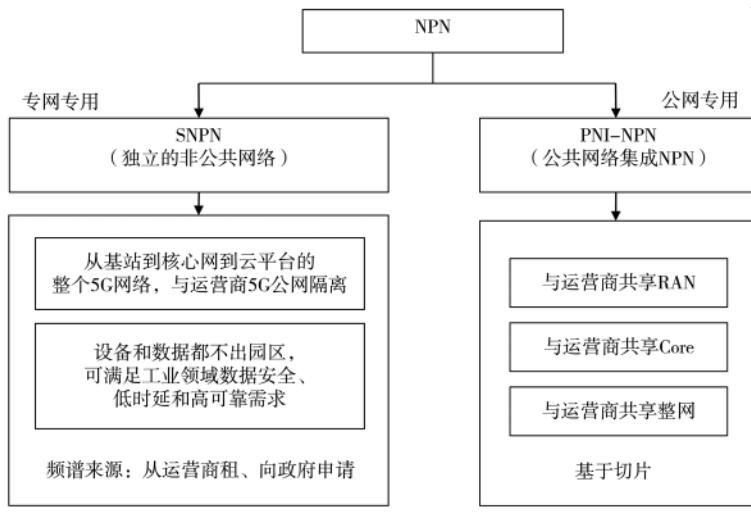


图13 NPN分类模式图

3 结论

3GPP R16版本将成为未来运营商5G SA建设的主流版本和重要能力参考标杆,随着基于R15版本的SA架构在2020年Q4全面商用,未来2~3年全产业链将围绕R16标准开展能力升级和业务融合创新。特别在面向

(4)电力系统中的智能设备多种多样,错综复杂,需要各个子系统协同控制、快速反应,5G空口时延为1 ms,端到端的时延小于10 ms,可以快速灵活地应对电力系统各种变化。具有高密度连接特性的配电物联网是基于5G技术建立的,它可以实现大量智能测量元件的部署,开展多元数据采集,例如,在配电网的节点大规模部署电压、相角信息和功率的测量,利用收集的数据辨识配电网拓扑,分辨分布式能源的接入点,生成电网潮流模型,实现系统的可视化,同时实现对用户使用的各种能源负荷进行精确预测。基于5G高带宽技术的配电物

(下转第44页)

垂直行业层面,5G SA提供了原生切片、边缘计算、行业专网、时延敏感网络、天地一体化通信、差异化服务、高可靠确定性等一揽子基础能力工具,以上能力必将加速5G与行业的聚变反应和融合,促进全行业的数字化转型。

参考文献

- [1] 3GPP TS 23.501 : System architecture for the 5G system (5GS)(release 16)[S/OL].(2020-06-xx)[2020-10-10].
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/2020-06/Rel-16/23_series/23501g51.zip.
- [2] 3GPP TS 23.502 : Procedures for the 5G system(5GS) (release 16)[S/OL].(2020-06-xx)[2020-10-10].
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/2020-06/Rel-16/23_series/23502-g51.zip.
- [3] 3GPP TS 29.500 : 5G system; technical realization of service based architecture(release 16)[S/OL].(2020-06-xx)[2020-10-10].
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/2020-06/Rel-16/29_series/29500-g40.zip.
- [4] 3GPP TS 23.503 : Policy and charging control framework for the 5G system(5GS)(release 16)[S/OL].(2020-06-xx)[2020-10-10].
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/2020-06/Rel-16/23_series/23503g51.zip.
- [5] 3GPP TS 23.316 : 5G system; technical specification group services and system aspects; wireless and wireline convergence access support(release 16)[S/OL].(2020-06-xx)[2020-10-10].
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/2020-06/Rel-16/23_series/23316-g40.zip.

(收稿日期:2020-10-10)

作者简介:

马瑞涛(1982-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:移动/固定核心网标准、方案、试验、业务创新等。

王光全(1968-),男,本科,教授级高工,主要研究方向:光通信及核心网技术。

任驰(1986-),男,本科,工程师,主要研究方向:移动核心网系统架构和关键技术的研究及标准化。

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