



5G 核心网演进需求及关键技术

Evolution Requirements and Key Technologies of 5G Core Network

王卫斌 /WANG Weibin

朱进国 /ZHU Jinguo

王全 /WANG Quan

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202001015

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200219.1147.002.html>

网络出版日期: 2020-02-19

收稿日期: 2019-12-20

摘要: 5G 商用进程已开启, 5G 核心网架构和关键技术也已基本确定; 然而, 为了更好地使能垂直行业、更快地实现 5G 业务部署和更高效地运维, 5G 核心网还需要持续优化和演进。5G 核心网的持续演进将围绕确定网络、智能网络和灵动网络 3 方面实现。网络切片、边缘计算和应用的服务化架构也在持续优化。垂直行业引入非公开网络 (NPN)、5G 行业局域网 (LAN) 和 5G 时间敏感网络 (TSN), 以及网络数据分析功能 (NWDAF)、网络人工智能 (AI) 等关键技术。这些技术将进一步促进 5G 核心网的发展。

关键词: 网络切片; 多接入边缘计算 (MEC); 云原生; NPN; 5G LAN; TSN; NWDAF

Abstract: 5G commercial process has been started. The 5G core network architecture and key technologies have been basically determined. However, in order to better enable vertical industries, achieve faster service deployment and more efficient operation and maintenance, 5G core network still needs to be continuously optimized and evolved. The continuous evolution of the 5G core network will be realized in three aspects: deterministic network, intelligent network and agile network. The network slicing, edge computing and service-oriented architecture are also continuously optimized. For vertical industries, key technologies such as Non-Public Network (NPN), 5G Vertical Local Area Network (5G LAN), Time Sensitive Network (TSN), Network Data Analysis Function (NWDAF), and Network AI are introduced. These technologies will further promote the development of 5G core networks.

Keywords: network slices; Multi-Access Edge Computing (MEC); cloud native; NPN; 5G LAN; TSN; NWDAF

1 5G 核心网的演进需求

1.1 5G 核心网现状

5G 开启了全连接、全业务的时代。不同于 4G 核心网的单纯增强移动宽带 (eMBB) 服务能力, 独立组网的 5G 核心网能够同时提供 eMBB、超可靠低时延通信 (URLLC) 和海量机器类通信 (mMTC) 服务, 实现一网多用、使能行业数字化转型。一方面, 屏蔽接入方式的差异, 实现以用户体验为中心的接入网络; 另一方面, 网络切片和边缘计算为各行各业提供按需服务^[1]。

当前, 独立组网的 5G 核心网商

用部署已经逐步开始。5G 核心网关键技术已取得如下进展:

(1) 云化部署。

云化部署是 5G 核心网的基础。目前, 大区集中全云化核心网技术已经成熟。云化部署可构建基于业务感知的弹性网络, 使业务容量不受单一硬件物理限制, 可实现资源按需分配, 网络功能按需生成, 使 5G 网络建设更平稳、更高效^[2]。当前, 5G 核心网云化部署处于中心云部署初级阶段, 还有待引入边缘云, 中心云技术架构也需要持续演进。

(2) 服务化架构。

5G 核心网以服务代替传统网元,

以服务之间的操作来代替传统的网元间接口^[3]。服务的引入有利于组件化重用。基于超文本传输协议 (HTTP) 的服务化接口让网络和业务设计更加灵活。目前, 5G 核心网控制面已经完全采用服务化架构; 但是服务化架构仍然不够灵活、用户面功能 (UPF) 网元还未能服务化。

(3) 网络切片。

网络切片同时支持多种业务场景和用户定制网络服务, 对运营商商业模式有深远影响。目前 5G 核心网和无线接入网已经支持网络切片, 传输网也可通过虚拟局域网 (VLAN)、灵活以太网 (FlexE) 等技术实现逻辑隔离;

但是,切片标准定义涉及6个行业组织:第三代合作伙伴计划(3GPP)、国际电信联盟(ITU)、国际互联网工程任务组(IETF)、全球移动通信系统联盟(GSMA)、欧洲电信标准化协会(ETSI)和电信管理论坛(TMF)。其中,3GPP负责无线接入、核心网和端到端管理标准的制定,ITU/IETF负责传输标准制定,GSMA定义应用场景和切片模板,ETSI/TMF负责管理框架架构定义。各组织相互协同进展缓慢,制约了端到端切片的商用步伐,导致网络切片目前仍以示范、演示和技术验证为主,端到端切片自动部署还限于相同厂家设备。

(4) 分布式网络和边缘计算。

5G核心网采用控制面和用户面分离(CUPS)分布式架构,使转发功能下沉到用户侧边缘,降低了转发时延。数据本地处理保证企业用户的数据安全。网络边缘引入多接入边缘计算(MEC),并结合网络动态分流技术如业务会话连续性(SSC)模式2/3、上行分类器(UL-CL)和分支点(BP)保证最佳的用户体验和商业实践^[4];然而,边缘服务有区域限制。诸如如何保证用户移动时业务连续性,如何发现新的本地MEC服务等实际商用部署问题,仍然有待解决。

1.2 业务发展需要 5G 核心网持续增强

随着5G商用不断深入,5G应用热点将从消费互联网走向产业互联网。不同于消费互联网服务,产业互联网应用向用户提供可定制、差异化的“确定性的服务”。这些服务在工业、能源、视频、交通等行业有非常广泛的需求^[5]。5G核心网当前以3GPP Rel15为基础,主要还是面对虚拟现实(VR)/扩展现实(XR)、高清视频、实时游戏等eMBB业务场景。要支持URLLC(端到端时延<5ms,安全性

和可靠性>99.999%)和mMTC(连接密度 $>1 \times 10^6/\text{km}^2$)服务^[6],除了接入网要增强外,核心网也需增强。

2 5G 核心网演进的关键技术

5G核心网演进聚焦在网络架构、垂直行业应用使能和网络智能化3个方面。

2.1 网络架构

(1) 网络切片演进。

切片是5G核心网的核心特性。不同于传统的服务质量(QoS)、接入点名称(APN)/数据网络名称(DNN)技术,切片可以提供端到端的专用网络,满足行业用户差异化的网络需求;而QoS只能提供单类用户的性能保障,APN/DNN只能选择服务接入点,无法区分无线能力。

4G/5G互通切片选择。4G并不支持网络切片。在4G演进分组核心网(EPC)和5G网络互通的时候,如何选择合适的5G网络切片以避免或减少对4G网络产生影响是需要解决的问题。为此,现有网络切片技术需要进行增强:4G EPC选择一个通用的接入和移动性管理功能(AMF),随后AMF从会话管理功能(SMF)获知当前会话的单一网络切片选择辅助信息(S-NSSAI),然后再进行5G切片选择。

切片内认证鉴权。在接入网络切片时,除了运营商需要对终端进行认证外,切片所有者也需要对终端进行认证,以增强5G网络安全性。为此,现有网络切片技术需要进行增强:在注册过程中,增加终端和切片的认证、鉴权和计费(AAA)交互,实现终端和切片的相互认证。切片AAA也允许随时取消对终端的认证,或者要求终端重新认证。

切片管理增强。这包括5G切片性能定义及测量,5G切片信息模型及

切片模板定义,服务化切片管理接口,切片管理服务的发现,切片故障监测等增强功能。根据GSMA定义的通用切片模板,3GPP将增强现有切片模板中的相关参数、网络功能和接口,如对切片中小区选择、快速接入、业务连续性和集中单元(CU)/分布单元(DU)分离进行增强。

(2) 边缘计算增强。

边缘计算增强包括新加入边缘服务的自动发现、边缘应用移动性管理、网络信息能力开放效率、本地分流重定向和多接入边缘计算选择。

边缘服务自动发现。这包括:终端新接入网络时,如何自动发现部署在边缘的服务;终端移动时,如何发现位置更优的边缘服务;当边缘服务因为需要维护等原因迁移时,如何及时通知终端新的地址。

边缘应用移动性管理。当终端移动到新位置需要迁移边缘服务器,或者边缘服务器因自身原因发生迁移的时候,服务器在迁移过程中的业务连续性需要得到保证,数据丢失也要减少。

网络信息能力开放效率。网络负荷、QoS检测结果等实时信息需要通过SMF、PCF、NEF等控制面网元通知到边缘应用。路径较长,实时性难以保证,需要在边缘部署本地NEF以提高传递效率。

本地分流重定向。如果用户接入的SMF因某种原因不支持本地分流,本地分流路径就需要被激活,以通知AMF重选选择SMF,或者通知终端重新建立边缘网络会话。

多接入边缘计算。边缘计算能允许通过无线局域网(WLAN)接入、固定接入、4G接入、5G接入等多种接入技术接入,并根据应用需求实现接入方式选择和切换控制。

此外,3GPP R16正在定义URLLC业务;但是垂直行业对于SLA保障、

安全和隔离的要求可能超过现有设备的能力。边缘算力应随着边缘应用的不断丰富而提升。基于现场可编程门阵列 (FPGA)、图形处理单元 (GPU) 的硬件加速技术以及异构加速资源的统一管理、能力开放、一体化设备集成将成为边缘计算的新趋势。

(3) 云原生。

5G 核心网云化将进一步向云原生方向演进, 以满足电信服务特有的性能和稳定性需求以及行业定制要求。如图 1 所示, 云原生演进将从基础设施、应用层的服务化以及管理系统自动化 3 个方面展开。

● 基础设施轻量化。传统的虚拟机需要在 Host 操作系统 (OS) 之上再叠加 Guest OS 系统, 导致资源占用相对较大。相对于传统虚拟机, 容器只有 Host OS, 具备更轻量、快速弹缩、部署高密度、性能强等优势。由于边缘机房占地、供电以及其他环境条件的限制, 计算资源不像核心数据中心 (DC) 那样充裕。边缘基础设施需要轻量化, 并支持应用的容器化部署。同时, 为了实现云边协同, 应用应与底层虚拟化技术解耦, 以支持容器及虚拟机的混合部署。将来, 随着容器隔离和安全能力的增强, 基础设施最终

统一到容器架构, 实现应用以及管理系统的统一容器化部署, 以提升资源利用率、业务弹缩和发布速度。

● 应用层服务化优化。应用层服务化架构需要增强无状态设计, 并进一步抽取出可共享的公共服务。这可以采用无状态的微服务架构和共享数据层来构建。微服务采用“高内聚, 低耦合”的设计。微服务之间通过应用程序接口 (API) 或统一的消息总线进行通信。用户的接入和会话信息统一存放在数据共享层。分布在不同位置的微服务实例, 通过数据共享层同步用户的最新状态。具体包括: 独立的信令连接协议 (SCP) 服务支持非直接通信和代理网络功能的发现功能。引入网络功能组 (NF Set) 和网络功能服务组 (NFS Set) 的概念以更好地支持无状态网络架构。增加了 Set 之间的用户上下文直接传递等过程。以上设计实现微服务实例的独立运行和弹缩、灰度升级, 提升应用的高可靠性。

● 编排部署自动化。结合 Kubernetes 容器集群管理平台, 从蓝图设计、资源调度编排和生命周期管理、应用状态监控、控制策略更新等多个环节实现 5G 核心网高度自动化。规划、建设、维护、优化和运营各个

环节有效衔接, 并形成 DevOps 闭环, 实现业务的一键部署安装、全面自治和高效管理。应用和切片能力可以通过 API/ 软件开发工具包 (SDK) 服务化接口开放给用户, 进行二次开发和业务创新, 在网络能力可编程的基础上实现业务创新和构建丰富生态圈。虚拟化运营平台提供持续集成 (CI) / 持续部署 (CD) 环境工具, 协助开发者进行业务开发、发布和升级。

(4) 其他架构增强。

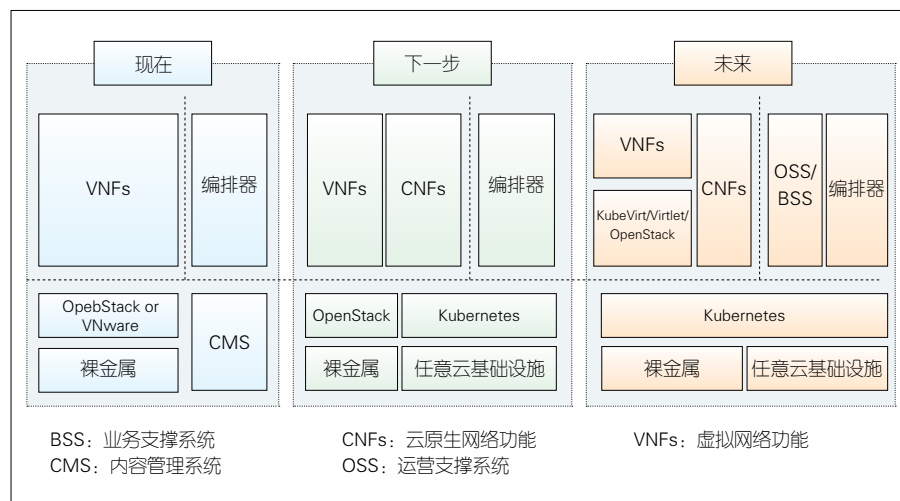
● 业务连续性。中间会话管理功能 (I-SMF) 确保用户移动出当前 SMF 服务区时的业务连续性。例如, 集中的企业接入 VPN 就是这种典型业务场景之一。增加 5G 到 3G 的单待模式的语音业务连续性 (SRVCC), 确保在没有 4G 覆盖情况下, 用户移出 5G 覆盖时话音业务的连续性。

● 定位业务。新增网关移动位置中心 (GMLC) 等网络功能以支持商业定位业务, 与现有 EPC 定位功能对齐的同时, 新增位置信息能力开放等 5G 特有功能。

2.2 垂直行业使能技术

(1) 5G 时间敏感网络 (TSN)。

电气和电子工程师协会标准 (IEEE 802.1) 于 2007 年创建了音视频频桥接 (AVB) 任务组, 用以太网取代家庭中的高清多媒体接口 (HDMI) 和同轴电缆。AVB 是 L2 桥接网络。2012 年, AVB 任务组更名为 TSN 任务组, 扩展了时间同步、延时保证等确保实时性的功能; 但 TSN 仍然只支持 L2 桥接网络, 不支持 L3 数据流^[7]。2015 年, 国际互联网工程任务组 (IETF) 成立了确定性网络 (DetNet) 工作组, 致力于将 TSN 从从局域网扩展到广域网中, 实现 L2/L3 网络中的确定传输路径, 以提供延迟、丢包和抖动的最坏情况界限或确定的时延^[8]。



▲图 1 5G 核心网向云原生的演进

对于工业控制领域,传统的“尽力而为”机制已经不能满足需求。工业控制需要网络支持有界的时延和抖动、极其严苛的丢包率和可靠性保证。为了支持工业控制领域应用,5G 核心网在 URLLC 通信服务基础上增加了时间同步、时延和时延抖动有界性,增强了可靠性指标^[9],并将 TSN 网络无线化,实现了 5G TSN。5G TSN 由 5G 网络充当 TSN 桥,确保 UPF 和用户终端(UE)之间的确定性延迟,具有精准的流量调度能力,可以保证多种业务流量的共网高质量传输^[10-11]。5G TSN 架构如图 2 所示。5G TSN 技术包括:与 TSN 系统互通架构、5G 高精度时钟同步技术、Bridge 端口和协议数据单元(PDU)会话的映射、QoS 映射、针对确定周期性传输的 QoS 控制、针对 TSN 数据流的缓存技术、同一 UPF 下的 UE-UE 直连通信以及确定性通讯的能力开放等。

(2) 5G 行业局域网(LAN)。

5G LAN 为垂直行业客户提供定制化专属广域“局域网”,使得企业终端与企业云随时随地处于一个虚拟化局域网(或虚拟组)中,无缝接入企业专网和企业私有云^[12]。如图 3 所示,无人机和机器人编组后各自组成一个虚拟局域网。5G LAN 面向企业云接入、智能制造等领域,实现终端的灵活组管理和组内直接通信。企业可以通过开放接口来定制互联网协议(IP)地址分配策略、流量路由策略等。5G LAN 包括:5G 用户虚拟组管理技术,以支持对虚拟组成员的动态加入、删除和修改,实现对虚拟组内终端通信的会话控制;增强策略控制技术,以控制 UPF 内和 UPF 之间直接包交换,实现虚拟组内终端点对点、点对多点直接通信;虚拟组内路由快速收敛和隧道调度控制优化技术,自适应感知网络拓扑结构变化,实现

路由快速收敛,避免路由震荡、提升传输效率。

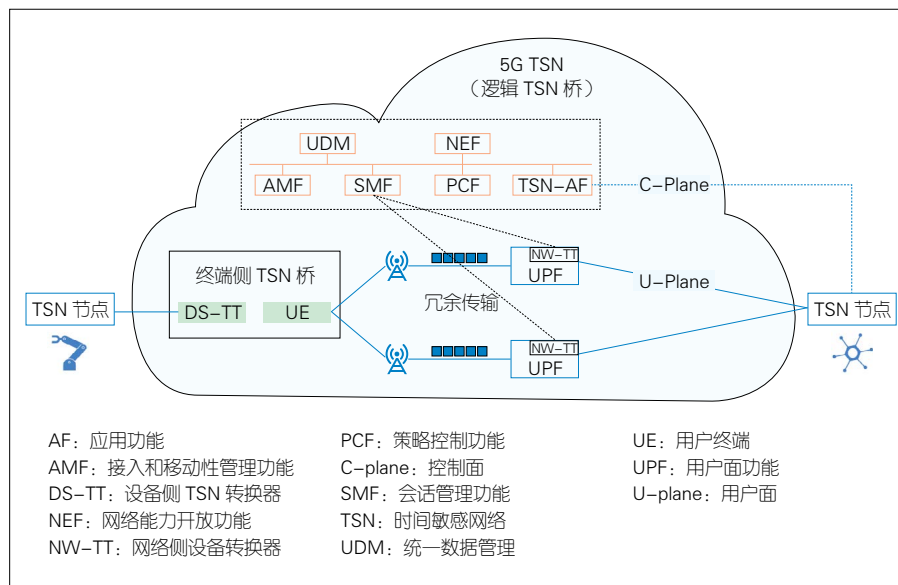
(3) 5G 非公开网络(NPN)。

专有网络有 2 种部署方式:一种是完全独立的网络,由网络所有者维护和控制;另外一种是和公共网络集成部署,由公共网络运营商进行控制和维护。对于后者,5G 核心网采用增强的 NPN 技术实现。如图 4 所示,5G NPN 基于闭合接入组(CAG)和网络切片的结合,实现端到端资源隔离,限制非垂直行业终端尝试接入专属基

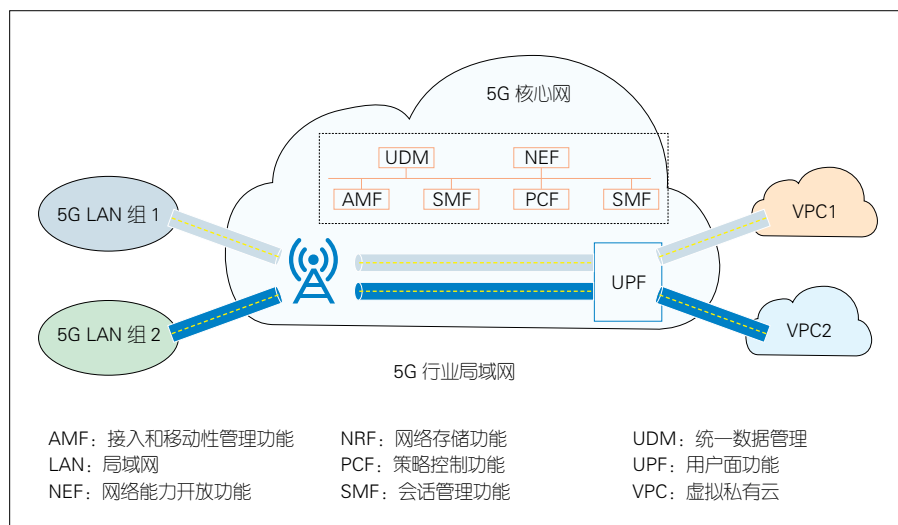
站和频段,保障行业客户网络安全和资源独享,提供为工业领域特定用户组服务的专有网络,例如在工厂内专门为机器人控制服务的网络。为了和公网进行区分,NPN 网络具有独立的网络标识(NID),可以实现终端接入公网或者私网的网络选择,以及公网和专属网络的互访控制。

(4) URLLC 相关核心网技术。

URLLC 主要依赖空口的优化技术。为实现端到端 URLLC,核心网也需要做如下增强:



▲图 2 5G TSN 网络架构



▲图 3 5G 行业局域网的通信机制

针对不同业务需求使用不同的 5G QoS 标识 (5QI), 以指示基站根据 5QI 进行资源预留, 支持低时延和高可靠业务传输。

终端可以通过双连接建立冗余会话, 业务层数据复制到 2 个会话连接同时进行传输, 从系统角度提高数据传输可靠性。

核心网支持 QoS 监控, 向应用上报当前传输路径真实 QoS 信息, 让应用感知当前网络的服务等级协议 (SLA) 能力, 从而根据当前情况调整数据传输策略或需求。

(5) mMTC 相关核心网技术。

3GPP R16 定义了 5G 核心网需支持窄带物联网 (NB-IoT) 和演进机器类通信 (eMTC) 接入, 提供物联网终端接入。基于新空口 (NR) 的物联网终端的 mMTC 接入预计将在 R17 定义。

2.3 网络智能化

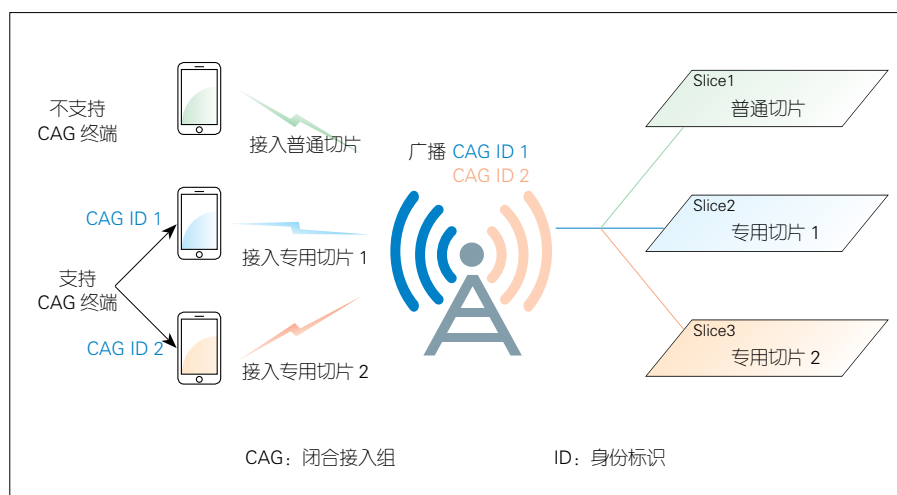
5G 支持万物互联, 使用高频段使基站数量大量增加, 控制面云化部署, 用户面下沉到基站和用户实现分布式部署。随着网络组网和拓扑变得越来越复杂, 5G 核心网需要充分利用人工智能 (AI)、大数据等新技术, 实现网络智能化, 以降低运维成本和提升效率。如图 5 所示, 网络智能化体现在 3 个层面: 网元层、管控层和运营层。通过在各层引入 AI 引擎以及多层次闭环优化和数据协同, 实现自动网络优化和运维运营。

● 数据收集和智能化网元闭环控制。为了增强网络数据采集能力, 5G 核心网引入专门的数据采集和分析网元 NWDAF。NWDAF 利用标准接口从设备收集用户信息, 从操作维护管理 (OAM) 收集网元信息。根据不同场景采用特定 AI 算法进行智能数据分析, 包括切片负荷分析、网络功能 (NF) 负荷分析、业务体验分析、网络性能

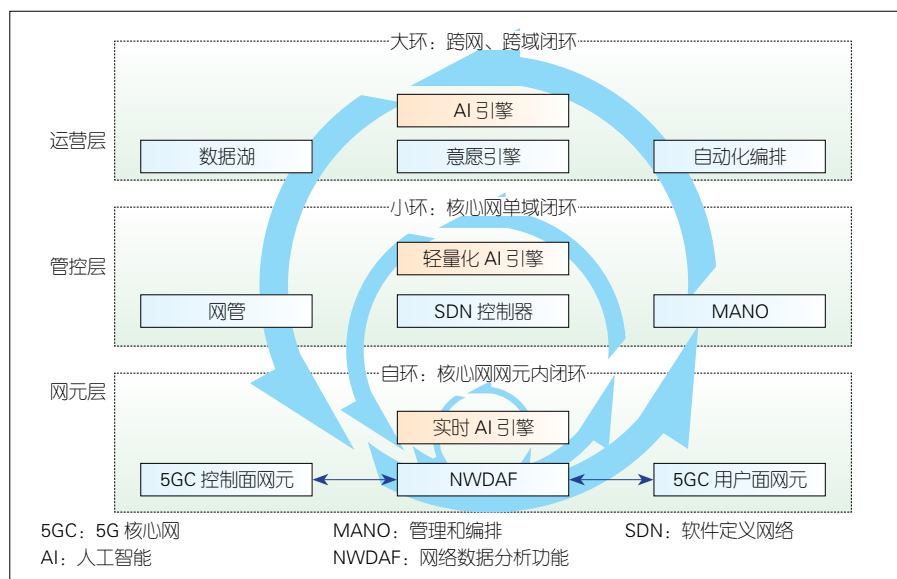
分析等。核心网利用这些分析结果反向闭环控制网元, 从而对网络稳定运行、网络性能、功耗控制、资源分配等进行优化和控制; 另一方面, 这些信息可向授权用户开放, 便于用户定制和管理自己的网络与业务。NWDAF 有别于大数据采集系统, 主要用于实时网络数据采集、分析和控制, 并不存储海量数据做后分析。NWDAF 可以作为一个数据源接入大数据采集和分析系统。

● 智能化网管和运维。在 5G 的网络管理运维中, AI 技术的精准预测

和智能保障将是实现智能运维的利器。5G 智能保障系统可以通过采集网络运行数据建立预测模型, 即根据历史数据和实时数据结合 AI 技术对用户行为、网络业务和相应的资源需求进行预测, 包括用户移动性预测、用户通讯模式预测以及异常用户检测等。预定义策略给出相应的措施 (如网络切片的扩缩容、异常终端检测), 从而保障网络在业务变化时能够及时提供相应的资源。同时, 面对复杂网络产生的大量告警, 通过机器学习实现告警关联, 根因定位, 并结合故障自动



▲ 图 4 5G 非公开网络 (NPN) 接入控制机制



▲ 图 5 5G 网络智能化的 3 个层次

诊断和恢复程序,消除潜在的故障,实现网络自愈,减少工单数量。实验表明,内置人工智能引擎和专家经验的智能根本原因分析(RCA)系统,通过机器学习建立告警关联规则,持续优化排障规则库,实现故障精准定位,可有效降低75%的人工运维成本,运维效率提升2倍以上^[13]。

●智能化网络运营。智能运营是5G网络新特性,通过能力开放平台支撑,可以向用户提供切片或服务的能力封装,实现用户自助定制、开通、运维网络切片。意图引擎^[14]将用户对业务的需求意图自动转译为具体的网络语言和配置策略,指导网络的规划、设计、构建和激活,实现网络运营所想即所得。针对具体垂直行业的切片,对于同类切片的海量数据进行分析 and 挖掘,建立行业专用切片画像,指导个性化的优化设置和行业应用拓展。引入切片自助服务门户和切片服务智能客服,提供智能化的交互、咨询、切片套装推荐和个性化切片自助定制等服务。

3 结束语

伴随着产业互联网应用的不断深入和边缘计算、网络切片、人工智能、垂直行业使能等5G核心网新技术的

引入,5G网络将更好地使能垂直行业,更快地实现业务部署和更高效地运维,从而推动5G的全面发展。中兴通讯创新性地提出基于Common Core + Common Edge技术架构的5G融合核心网解决方案,围绕确定网络、智能网络和灵动网络实现5G核心网的持续演进。

参考文献

- [1] 中兴通讯. 5G Core Network 技术白皮书[R]. 2019
- [2] 王卫斌. 5G商用将推动NFV进入新阶段[J]. 邮电设计技术, 2018, 513(11): 35-40. DOI: CNKI:SUN:YDSJ.0.2018-11-009
- [3] 3GPP. System Architecture for the 5G System: 3GPP TS 23.501[S]. 2019
- [4] 中兴通讯. Common Edge 边缘计算白皮书[EB/OL]. (2019-10-31) [2020-01-03]. <https://www.useit.com.cn/thread-25213-1-1.html>
- [5] 陆平, 李建华, 赵维铎. 5G在垂直行业中的应用[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(1): 67-74. DOI: 10.12142/ZTETJ.201901011
- [6] 3GPP. Service Requirements for the 5G System: 3GPP TS 22.261[S]. 2018
- [7] IEEE. IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Task Group[EB/OL]. [2020-01-03]. <https://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>
- [8] IETF. IETF Deterministic Networking(DetNet) Working Group[EB/OL]. [2020-01-03]. <https://datatracker.ietf.org/wg/detnet/>
- [9] 3GPP. Service Requirements for Cyber-Physical-Control Applications in Vertical Domain: 3GPP TS 22.104[S]. 2019
- [10] 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)[EB/OL]. (2019-10-31)[2020-01-03]. <http://www.aii-alliance.org/index.php?m=content&c=index&a=show&-catid=23&id=800>
- [11] 赵福川, 刘爱华, 周华东. 5G确定性网络的应用和传送技术[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(5): 62-67. DOI: 10.12142/ZTETJ.201905010

- [12] 中国移动. 基于切片的运营高级专网技术探讨[R]. 2019
- [13] 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): 45-48. DOI: 10.12142/ZTETJ.201902009

作者简介



王卫斌, 中兴通讯股份有限公司网络领域首席科学家; 从事SDN/NFV、电信云研究, 以及核心网产品规划, 相关产品和解决方案荣获5G论坛、SDN/NFV全球大会、世界边缘计算论坛、中国通信学会等多项大奖; 发表核心期刊论文10余篇, 获国家发明和实用新型专利20多项。



朱进国, 中兴通讯股份有限公司核心网标准总监, 高级工程师; 从事移动核心网产品研发和标准化工作多年, 研究领域为移动网络架构和核心网相关技术, 主要研究方向是网络架构、网络切片、边缘计算等。



王全, 中兴通讯股份有限公司电信云核心网产品副总经理; 负责产品解决方案和市场; 发表核心期刊论文多篇。