



5G 核心网的部署问题与建议

Deployment Issues and Suggestions of 5G Core Network

聂衡 / NIE Heng¹, 赵慧玲 / ZHAO Huiling², 毛聪杰 / MAO Congjie¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209;
2. 工业和信息化部通信科技委, 北京 100035)

(1. China Telecom Corporation Limited Research Institute, Beijing 102209, China;
2. Communications Science and Technology Commission of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, Beijing 100035, China)

摘要: 对 5G 核心网的服务化架构、网络切片、移动边缘计算 (MEC)、用户面云化等关键技术和产业成熟度进行了深入分析, 提出当前应用这些技术存在的问题、局限和挑战。在 5G 商用部署的时间节点上, 给出了以上这些技术的具体应对策略和建议。

关键词: 服务化架构; 网络切片; 移动边缘计算; 用户面云化

Abstract: Some key technologies and industrial maturity of 5G core network are analyzed, including the service architecture, network slicing, mobile edge computing (MEC), user plan virtualization. Some issues, limitations and challenges of the current usage of these technologies are also raised. Some specific countermeasures and suggestions of these techniques are given when developing the 5G commercial network.

Keywords: service-based architecture; network slicing; mobile edge computing; user plan virtualization

DOI: 10.12142/ZTETJ.202003002

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200618.0937.002.html>

网络出版日期: 2020-06-18

收稿日期: 2020-04-02

目前, 国际标准组织已经基本完成 5G 核心网标准的制定, 可以满足 5G 3 大基础场景之一的增强移动宽带 (eMBB)^[1] 的需求。5G 独立组网 (SA) 的核心网采用了与传统移动网络不同的全新架构和技术, 开启了传统电信网络向 IT 全面重构的第一步, 并且它与行业深度融合满足垂直行业终端互联的多样化需求^[2]。相比于非独立组网 (NSA), SA 网络能够带来众多的 5G 网络新业务和特性, 因此中国运营商目前将 SA 网络作为当前的网络建设目标。本文中, 我们通过研究和分析 5G SA 核心网的服务化架构、网络切片、移动边缘计算、用户面云化等关键技

术, 提出了当前部署 5G 核心网中存在的问题、挑战, 以及应对和发展建议。

1 服务化架构

5G SA 核心网顺应了未来电信网络向着云化、软件化演进的趋势, 参考了 IT 领域的软件架构建设经验 (采用微服务进行组织), 也将服务化架构 (SBA) 作为 5G 网络的基础架构来设计。5G 核心网的 SBA 将网络功能 (NF) 进一步拆分成若干个自包含、自管理、可重用的 NF 服务。这些 NF 相互之间解耦, 具备独立升级、独立弹性的能力, 具备标准接口与其他网络功能服务互通的能力, 并根据不同

的需求通过编排工具进行编排和实例化部署。考虑到 5G 标准的完成进度、技术成熟度等因素, 5G 核心网的 SBA 目前完成的是控制面的服务化; 而用户面的服务化是未来的建设目标, 目前尚未完成。图 1 为非漫游情况下 5G 核心网的控制面采用的 SBA^[3]。

可以看到, 除了无线接入网 (RAN) 和核心网用户面的用户面功能 (UPF) 之外, 所有的控制面 NF 都采用了 SBA, 这些 NF 对外提供一种或多种服务。

1.1 服务注册和发现

在 5G 核心网的 SBA 下, 服务

通过生产者与消费者间的消息交互来提供。交互模式主要简化为两种：Request-Response、Subscribe-Notify，从而支持 NF 间按照服务化接口交互。5G 核心网的各种服务采用服务自动注册和发现机制，实现了各 NF 在 5G 核心网中的即插即用、自动化组网；同一服务可以被多种 NF 调用，提升服务的重用性、简化业务流程设计。NF 通过服务化接口，将自身的能力作为一种服务暴露到网络中，并被其他 NF 复用；NF 通过服务化接口的发现流程，获取拥有所需 NF 服务的其他 NF 实例。这种注册和发现通过 5G 核心网引入的新型网络功能——网络资源功能（NRF）来实现的，此时 NRF 作为生产者来提供网络功能注册服务。NRF 接收其他 NF 发来的服务注册信息，维护 NF 实例的相关信息和提供的服务信息；NRF 接收其他 NF 发来的 NF 发现请求，返回对应的 NF 实例信息。5G 核心网的服务注册、发现、通信机制具体如图 2 所示。

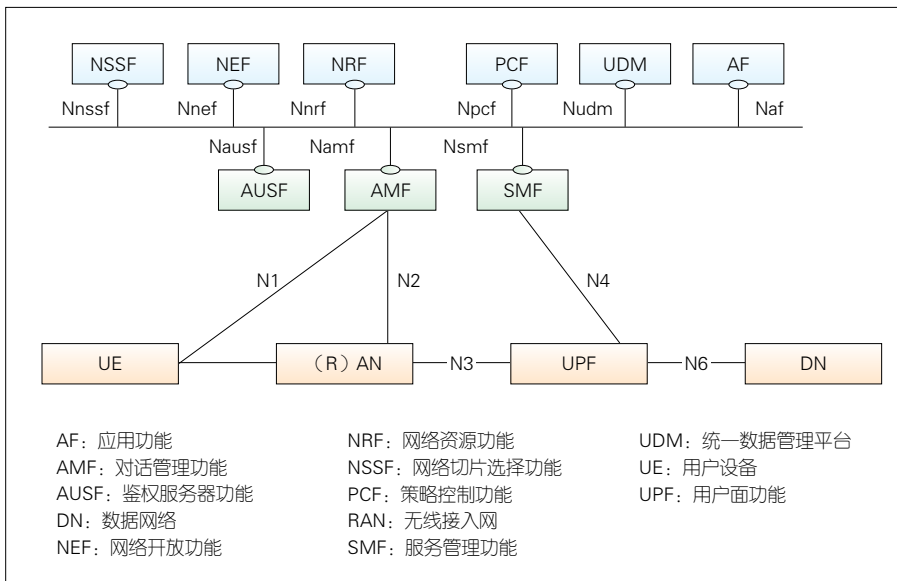
当 NF-B 作为新部署的网元上线时，会将自身支持的两个网络功能中的服务（NFS-B1、NFS-B2）和地址注册到 NRF 中。NRF 维护各种 NF 实例的相关信息和提供的服务信息。当 NF-A 需要使用 NF-B 的某个服务时，NF-A 向 NRF 发出 NF-B 的服务发现请求，获取拥有所需服务的 NF 实例，然后 NRF 向 NF-A 返回所请求服务的 NF 实例对应的地址（包括 NF-B 在内），随后 NF-A 向这个地址（NF-B）发起请求相应的服务。对于 Request-Response 模式，NF-A 请求的服务内容可能是进行某种操作或提供一些信息，NF-B 根据 NF-A 发送的请求内容，返回相应的服务结果。对于 Subscribe-Notify 模式，NF-A 向 NF-B 订阅 NF 服务，订阅的信息可以是按时间周期更新的信息或特定事件触发的通知（例

如请求的信息发生更改、达到了阈值等），NF-B 对订阅了该服务的 NF-A 发送通知并返回结果。

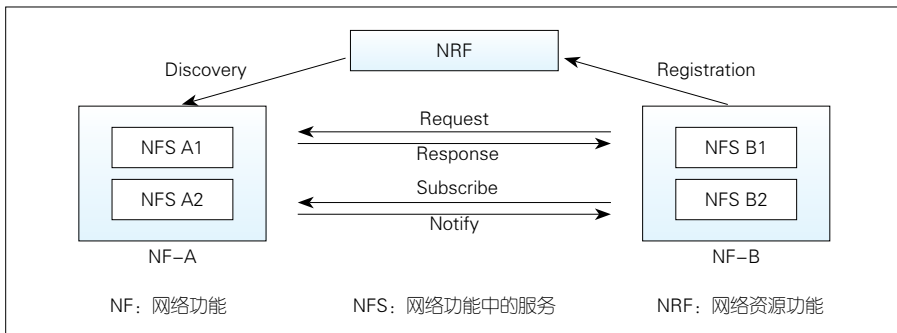
这种服务的自动注册和发现机制，在大范围组网时会面临挑战。例如，中国运营商习惯于按省来组织移动核

心网，此时需要省内 NRF 来实现各个 5G 核心网网元的自动组网；同时又采用更高层次面的全国 NRF 来实现跨省的 5G 核心网网元自动组网，如图 3 所示。

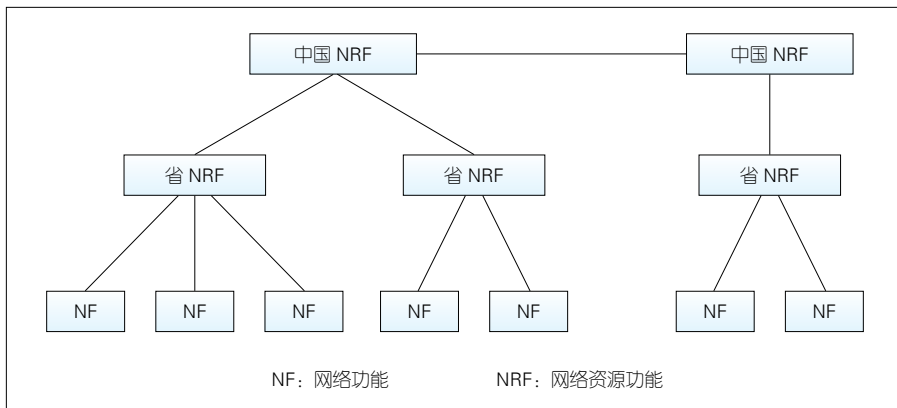
省 NRF 向所属的全国 NRF 注册 NF 数据，而全国 NRF 会有多个省的



▲图 1 5G 独立组网核心网服务化架构



▲图 2 5G 核心网的服务注册、发现、通信机制



▲图 3 NRF 的组网

NF 数据,且这些数据量很大;因此,需要减轻全国 NRF 负荷,但如何对数据进行聚合还不成熟。在同一个全国 NRF 上,多个省的数据间可能存在冲突和重复,但如何处理该情况目前也没有规范或经验。在有多个全国 NRF 的情况下,各个 NRF 之间如何自动发现,国际上还没有制定符合 SBA 理念的标准规范。目前的全国 NRF 之间是同级架构,不存在服务注册关系。

针对以上挑战,一些运营商通过手动配置来解决。例如,对于省 NRF 向全国 NRF 注册 NF 数据,可以手动在全国 NRF 配置所辖省 NRF 的 NF 注册信息,并进行数据聚合。对于全国 NRF 之间的发现,可以手动配置全国 NRF 间的路由,并基于 NF 网元的省编号、用户号码段等信息来进行发现。

1.2 服务化接口

5G 核心网采用统一的服务化接口协议。在设计接口协议时,考虑了适应 IT 化、虚拟化、微服务化的需求,目前采用了表 1 所示的协议栈。

5G 服务化接口协议栈在传输层采用了传输控制协议(TCP),在应用层采用 HTTP/2.0^[4],在序列化协议方面采用了 JSON,接口描述语言采用 Open 应用程序编程接口(API)3.0(API 的设计方式采用 RESTful)。对于传输层,目前 3GPP 正在研究用户数据报协议(UDP)、快速 UDP 网络连接(QUIC)。如果需要保证 5G 网元间服务化接口通信的安全,可以通过网

▼表 1 5G 服务化接口协议栈

协议分层功能	协议选择
API 设计方式	RESTful 为主
接口描述语言	OpenAPI 3.0
序列化协议	JSON
应用层	HTTP/2.0
传输层	TCP

API: 应用程序编程接口 TCP: 传输控制协议
RESTful: 一种网络应用程序的设计和开发方式

元开启传输层的安全协议——安全传输层协议(TLS)来实现。作为对比,4G 网络的核心分组网演进(EPC)的控制面协议采用了传统的电信网络协议——Diameter 和通用无线分组业务隧道控制协议(GTP-C)。

可以看出,服务化接口的复杂会给 5G 网络的运行指标带来一定的挑战。5G 核心网采用 SBA 的接口协议栈。与传统移动核心网的协议相比,5G 核心网虽然带来了更多的灵活性,但因为更加复杂会导致性能下降。用同样的硬件来实现的话,处理相同的信令任务,服务化接口的处理能力相对传统协议有所下降,协议处理时延也有所增加,这在各种测试和实验中已经有所体现。另外,SBA 的网络变得复杂,例如,接口增多、信令增多。接口和信令的增多,再加上协议处理时延的增加,导致了 5G 相对于 4G 的任务处理时延增加。例如,从控制面看,5G 网络下的 N2 切换就比 4G 网络下的 S1 切换时延要长。毕竟服务化架构的 5G 核心网还是新生事物,这些处理性能和时延的问题带来的运营指标下降是暂时的。从长远来看,可以通过优化软件结构和代码、不断升级的云资源池的服务器性能来解决。

2 网络切片

网络切片是 5G 网络的重要使能技术,实现了基于业务场景按需来定制网络。网络切片的关键特征表现为:端到端、可编排、可隔离、差异化的服务等级协议(SLA)、功能模块化。不同的网络切片之间可共享资源也可以相互隔离。网络切片是端到端,涉及核心网络(控制平面和用户平面)、无线接入网、IP 承载网和传送网等多个子域,需要多领域的协同配合。从目前来看,核心网切片的标准和设备相对比较成熟,5G 核心网支持切片的

选择功能、切片的通信流程。无线网切片由于具有一定的技术难度,如何根据切片标识进行逻辑或物理资源的切分及服务质量(QoS)调度,目前不同设备厂家的进展和实现各有不同。承载网切片目前相对独立发展,在与移动网之间跨专业的联动/打通方面还需要进一步推进。总体上看,实现网络端到端切片在技术上还有许多挑战,需要做到各子域间切片的协同和对接,复杂度相当高。对这个问题,目前产业界也在逐步解决,CCSA 已经成立了相关特设工作组来协调运营商、厂商等共同推进这一工作。

在 5G 网络中,通过单网络切片选择辅助信息(S-NSSAI)来区分不同的切片,且终端、无线网、核心网都需要用到这个标识。S-NSSAI 的编码由切片服务类型(SST)和切片微分器(SD)两部分组合而成。SST 标明切片的业务类型。目前 3GPP 定义了 4 大类业务,分别为 eMBB、超可靠低时延通信(URLLC)、海量机器类通信(mMTC)、车用无线通信技术(V2X),SD 标明大类业务下具体的切片业务,这个可以由运营商自己基于切片业务的规划来进行编码管理。5G 终端是切片的发起方,可以基于不同的应用(APP)来选择对应的切片,然后在建立承载会话的过程中将 S-NSSAI 发给无线网、核心网,再由网络来选择对应的网络切片实例,进行网络资源的分配。

根据 3GPP 的设计,终端可以通过网络切片选择策略(NSSP)来选择切片,NSSP 可以由网络下发给终端或配置在终端上。NSSP 的信息结构示意图如表 2 所示,包含了 APP 应用信息、终端操作系统(OS)的信息、切片信息等。

当前智能终端的能力不够,对网络提供多切片会带来挑战。由于智能

▼表 2 网络切片选择策略的信息结构示意图

规则	Appld	S-NSSAI
默认	-	S-NSSAI1
规则 1	OsId1 OsAppld1	S-NSSAI2
规则 2	OsId2 OsAppld2	S-NSSAI3
规则 N	OsIdN OsAppldN	S-NSSAIN

S-NSSAI: 网络切片选择辅助信息 Appld: 应用标识

终端和 APP 生态的复杂性，终端 NSSP 相关的标准和产业化还做得不完善。目前的智能终端无法基于不同应用选择不同的切片，只能对所有应用都选择同一个切片，这就限制了企业对企业对客户（B2B2C）类切片业务的开展（毕竟这类业务主要是基于智能终端的）。对于那些只提供单一业务的政企终端（2B 类应用，例如视频监控），则没有限制，网络可以选择终端请求的对应切片。针对上面智能终端的问题，业界正在从标准和产业的角度进行积极推进。

为了在未来能够真正发挥出 5G 网络切片的价值，需要实现切片管理域对切片的编排和管理。图 4 是切片管理域的示意图，可以看到切片管理

域与切片网络（业务域）之间的关系。

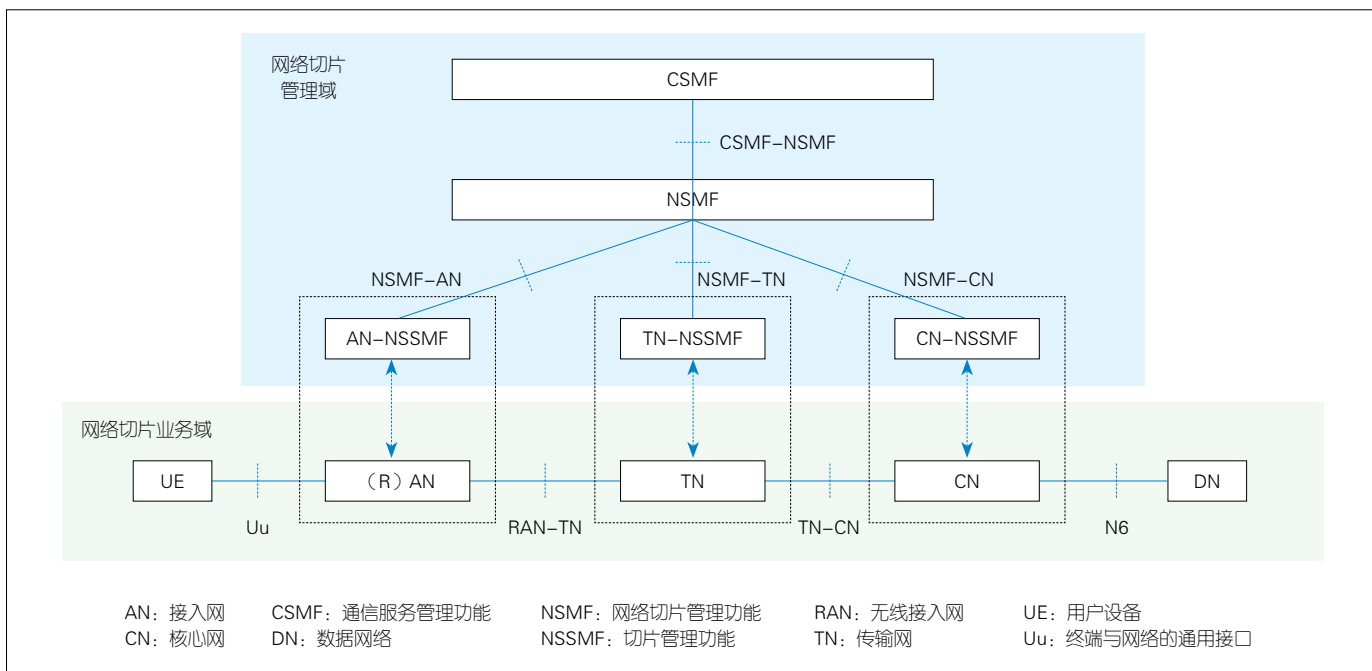
网络切片管理域由如下功能组成：通信服务管理功能（CSMF）、网络切片管理功能（NSMF）、网络子切片管理功能（NSSMF），具体包括天线接入网（RAN）子切片管理功能（AN-NSSMF）、传输网子切片管理功能（TN-NSSMF）和核心网子切片管理功能（CN-NSSMF）。对于云化的核心网，CN-NSSMF 需要通过网络功能虚拟化编排器（NFVO）来实现核心网切片中各个 NF 所需资源的创建。图 4 中切片管理域里面的各个功能实体只是从单纯的切片管理角度来阐述。在运营商实际的网络中，在很多情况下这些切片管理功能并不会独立存在，而是分散并嵌入到运营商自己的运营支撑系统（OSS）、业务支撑系统（BSS）中，并且不同的运营商的具体方案也不同，需要运营商的运维、IT、政企、网络部门深度参与才能将切片管理域整合进这些系统中。这对运营商的系统集成能力、研发能力、运营和维护能力将是挑战，运营商应该尽早着手

来发现问题解决问题，提自身升能力。

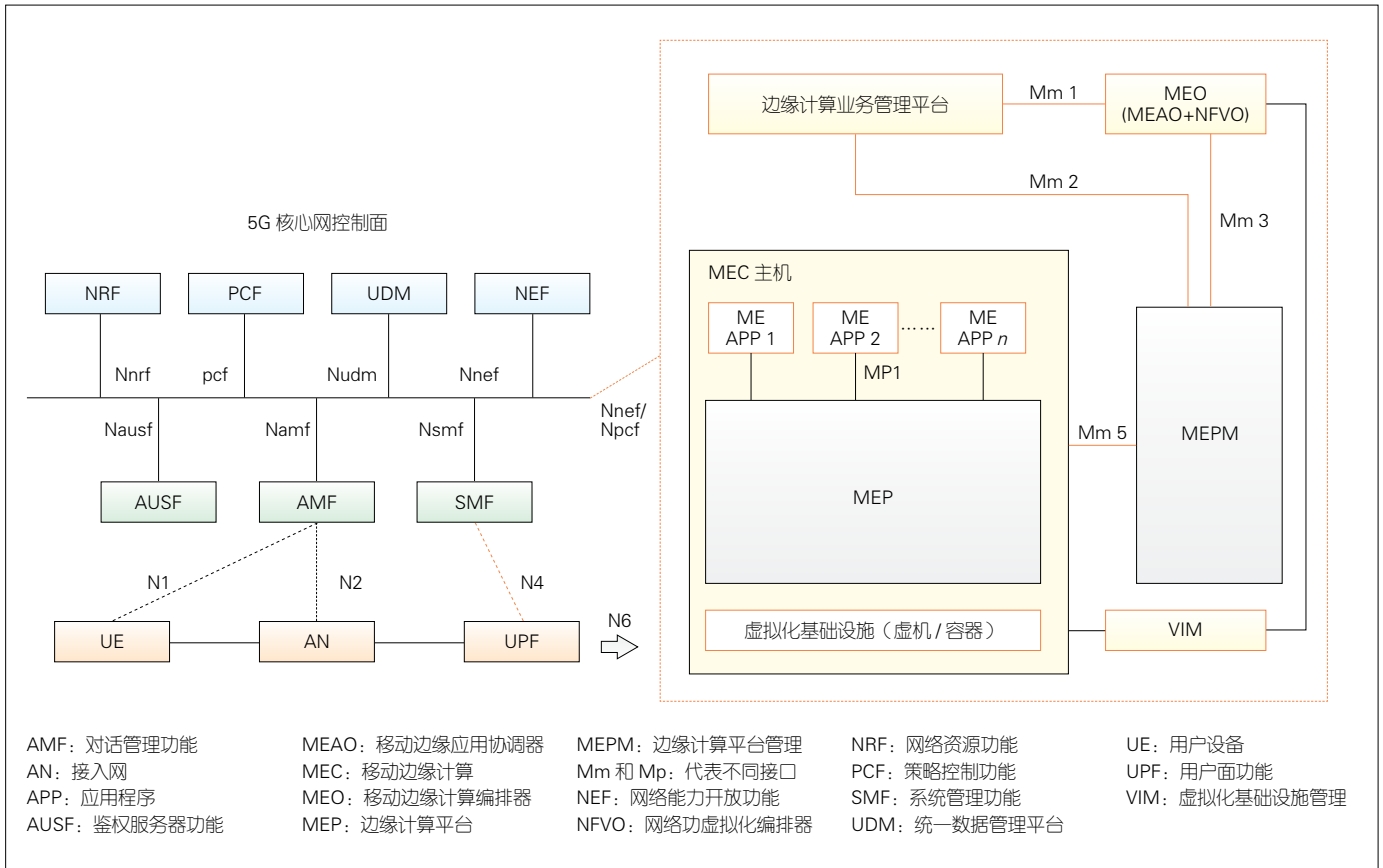
3 移动边缘计算

传统集中式云计算将业务处理数据回传至云数据中心，采用集中式数据存储，并利用超强的计算能力来集中式解决计算和存储问题；但在面对大带宽、大连接、低时延的 5G 应用场景时有局限性。移动边缘计算（MEC）在移动网边缘提供 IT 服务环境和云计算能力，强调靠近移动用户，以减少网络操作和服务交付的时延，提升用户体验。由于 4G 核心网对 MEC 支持的能力不足，5G 核心网在架构设计时就考虑了 MEC 的需求，在网络层面和能力开放层面都支持边缘计算。在网络层面，5G 核心网支持多种灵活的本地分流机制、移动性、计费 and QoS，以及合法监听。在能力开放层面，5G 核心网支持 APP 路由引导，支持对网络及用户的信息获取和控制。5G MEC 端到端系统架构如图 5 所示。

图 5 右侧的 MEC 系统在 5G 核心网中担任着“应用功能（AF）+ 数据



▲图 4 切片管理域



▲图 5 5G 移动边缘计算端到端系统架构

网络 (DN)”的角色。MEC 系统可以以非可信 AF 的角色通过“NEF 到策略控制功能 (PCF) 到系统管理功能 (SMF)”这个路径来影响用户面策略，或以可信 AF 的角色通过“PCF 到 SMF”这个路径来影响用户面策略；作为 AF 的一种特殊形式，MEC 系统可以与 5G 核心网的 NEF/PCF 进行更多的交互，并可以调用其他的 5G 核心网开放能力。MEC 系统和 UPF 之间为标准的 N6 连接，5G 核心网控制着 UPF 并将指定的 MEC 业务分流到 MEC 系统中。

目前，业界对边缘 UPF 与 MEC 系统间的关系还并不完全清晰，这会对边缘技术的规模商用构成挑战。从 3GPP 标准的系统架构上看，5G 核心网中支持 MEC 的边缘 UPF 与 MEC 系统之间是松耦合关系，这样可以实现

网络与平台的安全隔离，适应更多应用场景。在当前 SMF 与 UPF 之间的 N4 接口尚未完全开放的情况下，可以按照业务的需求直接部署与 5G 核心网 SMF 相同厂商的边缘 UPF。从 MEC 系统实际部署和资源利用效率来看，考虑到部署在边缘的系统可能存在各种资源受限的情况，在一些情况下边缘 UPF 与 MEC 系统间采用紧耦合会更好。这样一来，UPF 和 MEC 系统可以统一集成，效率相对较高；但又会面临在 MEC 系统厂商与 5G 核心网厂商不同的情况下，边缘 UPF 与 5G 核心网 SMF 之间 N4 接口互通的问题。对于这个问题，目前中国的运营商发起了 N4 接口开放合作计划，规范了 N4 接口的基础服务和部分增值服务，由此来促进边缘 UPF 与 SMF 的解耦。由于边缘 UPF 比核心的 UPF 简单，并且对

5G 核心网主流厂家的利益触动不大，因此，N4 接口开放合作的推动难度会小很多。

4 用户面云化

在电信设备产业云化发展的趋势下，5G 核心网 UPF 网元采用云化的部署，具备快速部署、位置动态调整、新业务快速使能等能力。增强现实 (AR) / 虚拟现实 (VR)、4K/8K 高清视频、3D 游戏等 eMBB 应用将会进一步提升用户流量，因此 5G 移动用户流量将会增速迅猛。UPF 需要提供用户流量的高速处理，需要资源池满足转发性能及计算能力。例如，GTP、IP 转发等对吞吐量要求高；新业务的增多导致深度报文分析 (DPI) 逻辑复杂、协议多样，对计算能力的要求也变高；QoS 的处理对内存消耗

较大。

目前, 5G 核心网用户面 UPF 的设备形态包括专用设备、通用服务器。专用设备的转发效率最好, 能够以线速转发; 但无法实现分层解耦, 无法被 NFVI 统一纳管, 扩容能力不灵活。通用服务器包括软件加速方案和硬件加速方案。软件加速方案的转发效率不高, 目前已经无法满足大流量、低延迟的转发需求; 但其扩展性好, 可通过资源池管理系统并进行统一纳管。硬件加速方案的转发效率可接近线速, 但各厂商网卡类型、业务卸载方式不一, 资源池难以纳管, 这与硬件加速当前的标准化程度还不够、产业化成熟度不够高有关。

因此, 当前 UPF 的部署面临着是否需要云化、如何云化的挑战。UPF 云化部署的方案, 应该结合转发性能、建设成本、部署环境、成熟度进行综合考量。目前主流 5G 核心网厂家的大容量中心 UPF 以硬件加速的通用服务器为主, 并采用数据平面开发套件 (DPDK) 和单根 IO 虚拟化技术 (SR-IOV) 加速技术。但实际上, 云化部署并没有那么成熟, 需要由厂商来进行集成。只有完成硬件、虚拟化基础设施管理 (VIM)、VNF 的集成部署, 才能保证高转发性能, 从而提升对接、运维效率。对于边缘 UPF,

转发性能要求不高, 且需要按需下沉, 灵活和快速部署, 灵活扩展; 因此, 可以考虑采用小型化、低成本的通用服务器虚拟化方案。

5 结束语

当前服务化架构 5G 核心网的级联组网, 可以通过 NRF 的手动配置来进行; 接口性能问题可以通过优化软件代码、不断升级的云资源池的服务器性能来逐步解决。对于网络切片的问题, 需要从标准和产业角度提升终端的多切片能力; 切片管理则需要运营商提升系统集成能力、研发能力。边缘计算需要综合考虑边缘 UPF 与 MEC 系统的解耦, 并且推动 N4 接口的开放合作。根据当前的技术发展水平, 中心的用户面云化建议由厂商来进行集成, 边缘用户面可以考虑通用服务器虚拟化方案。

参考文献

- [1] ITU-R. Recommendation ITU-R M.2083-0. IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond[R]. 2015
- [2] 聂衡, 赵慧玲, 毛聪杰. 5G 核心网关键技术研究[J]. 移动通信网络, 2019,(1):2
- [3] 3GPP. System architecture for the 5G system; stage 2 (Release 15):3GPP TS 23.501 V15.9.0[S]. 2020
- [4] 3GPP. Technical realization of service based

architecture; stage 3 (Release 15):3GPP TS 29.500 V15.5.0[S]. 2020

作者简介



聂衡, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师; 研究方向为移动通信。



赵慧玲, 工业和信息化部通信科技委专职常委、信息通信网络专家组组长, 中国通信学会常务理事、信息通信网络技术专业委员会主任委员, 中国通信学会北京通信学会副理事长, 中国通信标准化协会网络与业务能力技术工作委员会主席, 中国电信科技委常委兼核心网组负责人, SDN、NFV、AI 产业联盟技术委员会副主任, 网络 5.0 产业联盟技术委员会副主任; 曾获国家及省部级多个科技进步奖项; 发表论文 100 余篇, 出版技术专著 12 部。



毛聪杰, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师; 研究方向为移动通信。