



面向 5G 的核心网演进

马洪源, 肖子玉, 卜忠贵, 赵远

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 5G 致力于“信息随手至, 万物触手及”的愿景。5G 网络采用场景化设计, 以更加灵活的方式满足多样化的业务需求。基于面向 5G 的核心网目标架构, 从网络设备形态、组网架构、网络和业务能力及网络管理编排等方面分析了网络演进中的问题。遵循“网络架构布局一步到位、网元功能平滑升级演进、容量流量逐步迁移调整”的原则, 给出了不同时期 5G 演进策略建议。

关键词: 5G; 核心网; 演进; 架构

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019159

Evolution of core network oriented to 5G

MA Hongyuan, XIAO Ziyu, BU Zhonggui, ZHAO Yuan

China Mobile Group Design Institute Co.,Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: The 5G network is dedicated to the vision of “internet of everything and information is easy to reach”. 5G network adopts scene design to meet diverse business needs in a more flexible way. Based on the core network target architecture oriented to 5G, the problems in network evolution were analyzed from the aspects of network equipment form, networking architecture, network and service capabilities, and network management orchestration. Following the principle of “one-step network architecture layout, smooth evolution of network element functions, and gradual migration adjustment of capacity traffic”, the 5G evolution strategy recommendations for different periods were given.

Key words: 5G, core network, evolution, architecture

1 5G 网络概述

5G 网络提出了“万物互连”的目标及增强型移动宽带 (eMBB)、海量物联网 (mMTC) 和高可靠低时延 (uRLLC) 三大应用场景。eMBB 相对于 4G 网络速率可以提供更高的速率、移动性以及频谱效率, 可以满足 4K/8K 超高清视频、VR/AR

等大流量应用, 为用户提供更好的使用体验。mMTC 和 uRLLC 是针对垂直行业推出的全新场景, 分别在流量密度、连接密度和端到端时延、可靠性方面进行了网络设计, 用以满足海量物联网连接、车联网、工业控制、智慧工厂等应用, 推动 5G 由移动互联网时代向万物互联时代转变。



2 5G 核心网及目标架构

2.1 5G 核心网特点及问题

为满足不同场景下多样化的业务需求，5G 需要提供灵活的、按需服务的核心网，如图 1 所示。5G 核心网充分借鉴各领域技术优势，打破传统局限，通过架构变革提供全新能力，但同时也给网路部署和实现带来了一些问题和挑战。

- 核心网从 4G 时期的“网元”解耦重构为 5G 时期的“网络功能”。基于统一的通用硬件设施，软件化的功能重构实现网络的低成本、灵活部署；但过多的网络功能与接口增加了核心网部署及异厂商组网的复杂度。
- 基于通用硬件设施，控制面与用户面功能分离，新型的会话管理和移动性管理为网络提供了更多可选的功能组合。但虚拟化转发设备性能与专用设备相比仍有较大改进空间，三层解耦不充分，虚拟化网络管理与编排仍在探索和完善。
- 采用互联网化协议（HTTP/2），提供标准开放的 API。基于面向服务的理念采用服务化架构及服务化接口实现 ICT 深度融合，共享互联网成熟技术；但原有通信协议与新的互联网协议如何实现良好兼容；面向服务的设计理念需要网络在设计态和运维态之间频繁切换，对运维管理又提出新的要求。
- 5G 通过边缘计算和网络切片功能，提供专用逻辑网络，提供按需配置的网络功能，满足基于服务等级协议的个性化需求。但网络切片属于端到端的概念，需要多专业协同和成熟的切片管理；行业用户千差万别，5G 对垂直行业的发展规划和商业模式也需加快制定和探索。

5G 网络多场景设计面临多样化的业务需求，不同的需求对网络能力提出了不同的诉求。在网络转型的关键节点首先应该考虑未来网络的目标架

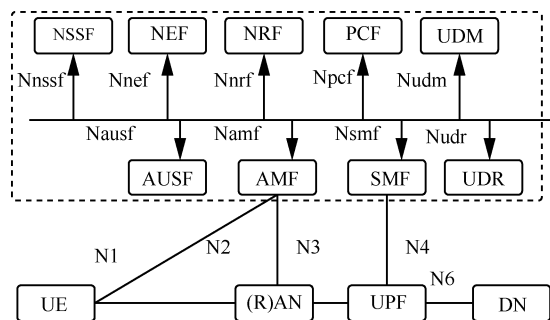


图 1 基于服务的 5G 网络架构

构，以终为始，减少不必要的重复建设与投资浪费。

2.2 面向 5G 的核心网目标架构

如图 2 所示，未来的核心网是以 NFV、SDN 技术为基础的资源可全局调度、业务可快速部署、能力可全面开放、容量可弹性伸缩、架构可灵活调整的新一代网络；网络编排是整个网络的管理核心，涉及网络资源的调度编排和网络服务的运维管控。

未来的网络将从目前“以语音和数据为核心”转向“以内容和流量为核心”，核心网网络架构具有以下特点。

- 核心网从扁平的集中化架构调整为“中心+边缘”的分布式架构。传统机房重构为云数据中心，新建或改造边缘基础设施，能够满足新设备形态所需的空间、电源、散热及网络配套需求。
- 传统网元与虚拟化网元长期共存，多制式混合组网，传统网元容量逐步向虚拟化网络迁移；部署面向服务的虚拟化网络功能，按需生成基于 SLA 的网络切片，满足不同场景及用户的业务需求。
- 控制面与转发面进一步分离，转发面网元进一步向边缘下沉，通过 SDN，实现连接可编程及不同数据中心之间的流量集中调度。
- 通过引入新型编排管理系统实现业务、资源和网络的协调管理，通过业务设计、业务部署、配置上线、闭环控制等功能特性，实现 NFV/SDN 网络编排和全生命周期的自动化和智能化管理。

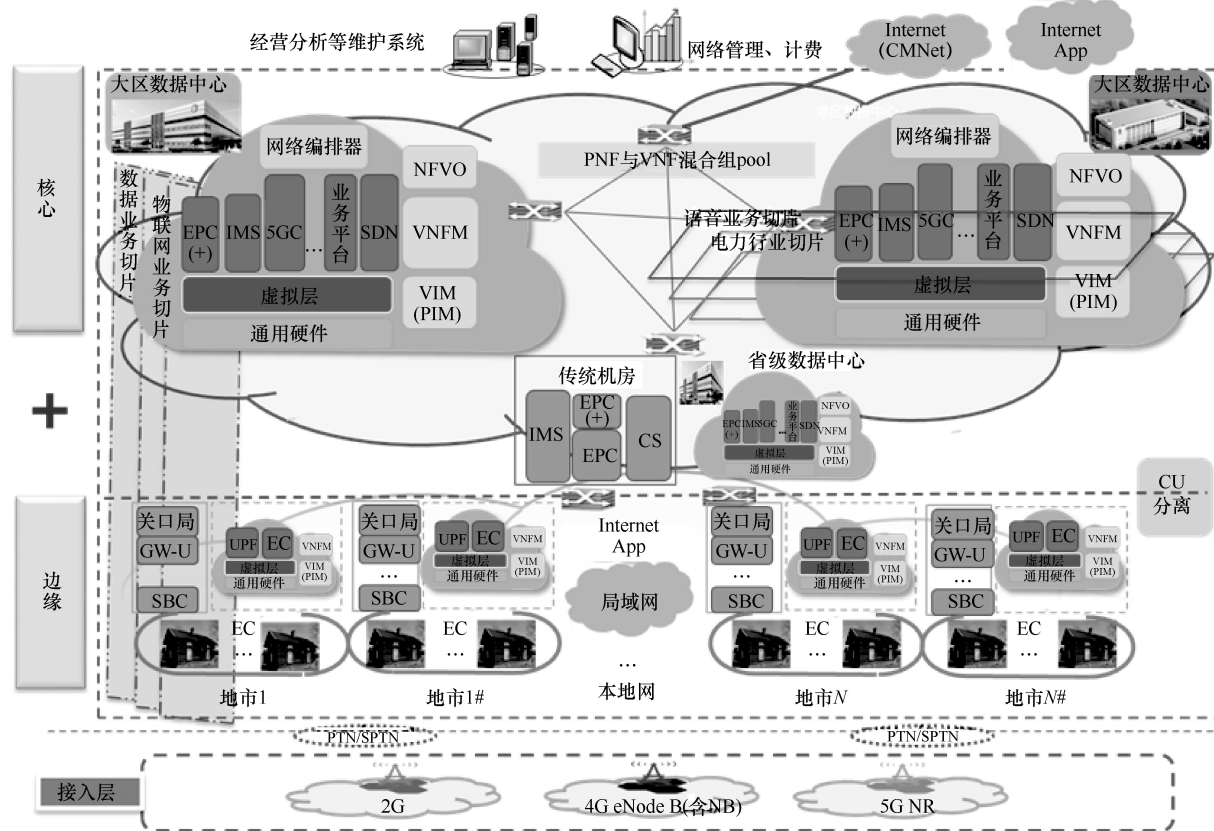


图2 面向5G的核心网目标架构

3 演进中的几个问题

面向5G的核心网演进需要考虑设备形态、网络架构、网络和业务能力及网络管理编排等问题。

3.1 设备形态的转型

从目前行业发展来看,网络设备虚拟化、云化是核心网发展的趋势,而解耦后的重构才是网络发展的目标。虽然经历了多轮测试和优化,但虚拟化设备性能和解耦依然存在诸多问题,不同厂商部署相同容量虚拟网元对虚机资源的需求也存在较大差异。

抛开转发面设备不谈,以500万容量服务化的5GC产品为例,在获得灵活性、可扩展性、开放性的情况下,性能依然弱于传统物理设备,见表1。

表1 形态网元性能对比

产品形态	物理网元	虚拟化	服务化(SGC)
性能(资源相同,均采用服务器)	100%	85%	76%
功耗(资源相同,均采用服务器)	100%	80%	83%
占地	100%	120%	120%
新业务上线TTM	以年为周期	以季度为周期	以周为周期

注:基于现网话务模型,同型号CPU配置。

类似地,NFV3层解耦也需要长期的积累和迭代才能完善。硬件、虚拟层和上层应用充分解耦可以最大程度避免绑定,是目标架构;但目前存在接口标准成熟度低、集成难度大、部署周期长、故障定位复杂和运维管理难度大等问题。软硬件二层解耦技术相对简单、成熟,5G初期采用基于



三层架构的二层解耦有利于快速部署。

另外,对于核心网部署容器技术目前尚没有特别明确的结论,后续是否引入以及如何引入都有待进一步商榷和研究。

3.2 网络架构的调整

面对多样的业务需求以及更为严苛的网络指标,“中心+边缘”的分布式网络架构既能实现网络控制集中协同,又能灵活地实现转发设备就近接入、本地分流。集中化建设策略和边缘基础设施规划是网络架构调整中的重要课题。

3.2.1 集中化建设思路

针对目前各省机房资源、维护支撑力量不均衡的情况,网络集中化部署有利于集中力量搞攻坚,实现业务快速部署、新技术快速迭代,实现真正意义上 Devops (研发运维一体化),同时提高运维效率,降低运维成本。集中化部署便于全网业务统一、网络切片划分及业务开展,有利于通过集群效应发挥网络规模效益。

集中化建设需要从网络时延、传输带宽、集中运维、集中化组网可靠性以及网络协同和演进等多个角度综合评估。

(1) 时延角度

在传输距离增加 1 000 km 的情况下,5G 核心网集中化部署理论上可以满足大部分业务指标需求,用户体验基本不受影响。但集中化部署(基于 N26 的跨系统)造成切换时延增长可能影响切换成功率;交互型业务累积时延对用户体验的影响需要通过测试进一步验证。

(2) 带宽角度

大带宽场景 UPF 设备集中部署对传输挑战巨大,以 N3 接口为例,假设大区覆盖 1 亿 5G 用户,按照 DOU 48 Gbit/s/日均 10 个忙时测算,传输网和承载网分别需要 423 个 100GE 端口,建设成本巨大。

(3) 集中运维角度

集中运维需要对组织架构和维护分工界面进行适配调整;信令监测、日志留存、安全监控、

网络管理等配套建设同步考虑;基于完备的组织架构,专业化的网络运维队伍才能更好地发挥网络集中化的优势。

(4) 网络安全及可靠性角度

集中化+虚拟化为大区中心虚拟层/VNF 容灾带来了极大挑战;网元容量更加集中,DC 级故障及信令风暴影响面较大,需要更高级别的安全容灾方案。

(5) 网络协同和演进角度

支撑网、信令网需要考虑与大区同步规划,集中化大区与现有基地之间的关系需进一步明确;针对后续 mMTC 及 uRLLC 场景,集中化建设的网元应考虑通过平滑演进满足业务需要。

总而言之,网络集中化建设初期建议多区域共享基础物理资源,不同区域分权分域管理。进行网络资源集中的同时,同步考虑管理系统、支撑系统和维护体系的建设。

3.2.2 边缘基础设施规划

5G 边缘基础设施主要满足大带宽业务本地分流以及边缘计算业务,通常部署 UPF、边缘计算平台、CDN、边缘应用服务器以及网络和管理支撑设备。5G 边缘机房包括地市核心机房、区县重要汇聚机房、普通汇聚机房以及站点接入机房等。

对于新建的地市核心机房,优先考虑按照数据中心标准建设,通过业务、管理、存储三域的物理隔离实现数据中心的分布式拓扑组网,通过 SDN 功能实现网络配置自动化,通过多样化硬件加速技术满足不同场景对网络的能力诉求。

区县及以下的边缘基础设施资源相对匮乏,如果采用云化架构需要考虑轻量级设计,可以采用定制化服务器,组网方面也可以考虑虚拟隔离方案。

边缘基础设施既要支持无人值守情况下的远程维护,也要能够满足异构资源共平台部署;在资源管理方面采用轻量化的 OpenStack 和 SDN,通过集中的网络编排器实现对边缘基础设施的统一管理。

3.3 网络及业务能力的演进

为满足不同运营商网络演进需要,5G 标准提供了两种网络架构:SA (standalone, 独立组网) 和 NSA (non-standalone, 非独立组网)。网络组网及部署架构选项分析见表 2, SA 模式终端单连接, 5G 接入网独立组网, 通过与 4G 互操作完成系统间切换, 5G SA 特指 option2。NSA 则采用 4G/5G 无线混合组网, 终端同时与 4G 和 5G 接入网保持连接。

NSA 是向 SA 演进的过渡, option3 系列架构是大部分运营商部署的首选, 核心网通过 EPC 升级实现, 能够快速实现对 eMBB 场景的支持, 而 option7 及 option4 系列是对 LTE 后续演进的一种补充, 核心网技术跨度大。SA option2 是 5G 目标网络架构, 采用全新的 5G 核心网, 能够支持 5G 全部新特性, 但标准及产业进展相对滞后。

5G 网络不同的架构需要不同的核心网与之匹配, 而架构的选择涉及业务需求及网络定位、频谱资源分配、产业链成熟度、无线改造范围及建设难度、建设周期和投资成本等多个因素。

3.3.1 EPC 核心网升级

支持 option3 系列的 EPC+重用 4G 现有接口和协议, 通过功能升级, 在 EPC 基础上部署完整的 5G NSA 能力。升级的网络功能根据业务需要分为必选项、条件必选项和条件可选项, PC 核心网功能积极情况汇总见表 3。

基于网络功能需求, EPC 核心网可以确定网元改造范围, 如 NSA 业务覆盖区内 MME 需全部升级, SAE-GW 可根据覆盖区内转发流量大小按需确定升级规模。若业务覆盖区 SAE-GW 全部升级, 则无需对网关选择功能进行扩展增强; 若不需要扩展 QoS、接入控制标识功能 (ARD), 则

表 2 5G 网络组网及部署架构选项分析

组网模式		NSA			SA
部署架构选项		option3/3a/3x	option7/7a/7x	option4/4a	option2
架构描述		LTE 作为控制面锚点提供连续覆盖, NR 提供容量补充	eLTE 作为控制面锚点提供连续覆盖, NR 提供容量补充	5G NR 作为控制面锚点提供基础覆盖, eLTE 提供容量补充	5G NR 独立组网、提供基础覆盖和容量
网络特性	终端	终端双连接	终端双连接	终端双连接	终端单连接
	无线	4G/5G 混合组网	4G/5G 混合组网	4G/5G 混合组网	5G 独立组网
	核心网	EPC+	5GC	5GC	5GC

表 3 PC 核心网功能升级情况汇总

MME			SGW	PGW	PCRF	HSS	CG	备注
基本功能	承载迁移	必选	—	—	—	—	—	
	支持双连接	必选	—	—	—	—	—	
	安全	必选	—	—	—	—	—	
扩展 QoS	扩展 QoS	条件可选						(1)HSS 根据 MME NSA 能力下发新签约信息 (扩展 QoS 和 ARD); (2) 目前低频最大带宽未超过 4 Gbit/s, 不用扩展 QoS 也可支持双连接, 当使用高频最大带宽超过 4 Gbit/s 时需要支持
网元选择	网元选择	条件必选			—	—	—	若仅部分 SAE-GW 或 SAE GW-C 升级, 则需支持
区分计费	用量上报	条件必选			—	—	—	若需 4G/5G 区分计费, 则需支持
	计费	—	条件必选	—	—	—	条件必选	
移动性管理	ARD 限制接入	条件必选	—	—	—	条件必选	-	若需限制用户对 5G 的接入, 则需支持



HSS、PCRF 可不改造。

3.3.2 5GC 部署

支持 option2 系列需要新的 5G 核心网，即 5GC。5GC 既可以基于 vEPC 升级，也可以新建。鉴于 4G/5G 网络长期共存的基本现状，新建 5GC 需支持 EPC 功能，兼容现有 4G 业务，同时满足向 5G 平滑演进。从主要设备厂商产品路标反馈，5GC 控制面建议基于虚拟化部署，用户面可以采用物理设备也可以部署虚拟化设备。

5GC 与 EPC 之间的互操作可以基于标准的 N26 接口。通过 N26 控制面接口传递上下文等互操作信息，可提前在目标网络预留资源，提高切换效率。连接态下，互操作通过执行 PS 切换或重定向完成，PS 切换比重定向中断时延更短，基本无业务中断感知；空闲态下，5GC 通过执行 TAU 切换到 EPC 或通过执行注册流程完成 EPC 向 5GC 的系统间切换。支持 N26 接口需要对与 5G 网络有业务交集区域的 MME 进行改造。

3.3.3 用户数据的融合迁移

运营商基本确立了存量用户不换号，通过更

换 5G 终端，接入 5G 网络实现 5G 商用的市场策略。从 4G 到 5G 实现用户不换号需要 HSS/UDM 融合部署，5G 用户共享 4G 鉴权/签约数据，但现网设备不具备向融合 HSS/UDM 演进的条件，因此存量用户数据迁移成为 5G 规模商用的重要前提。而用户是否需要换卡，则涉及是否启用 IMSI 隐私保护功能，即终端接入网络的第一条消息中 SUCI 是否加密。加密所用公钥证书存储在 USIM 卡，该功能为可选功能，取决于运营商。

鉴于用户数据是运营商的核心资产、规模庞大；存量用户数据迁移方案既需要具备通用性、与现网厂商解耦；又要尽量做到用户无感知，对业务支撑系统/信令网/现网 HSS 改造最小，节约投资，简化运维。

基于上述原则，建议采用虚拟化融合 HSS+UDM FE+BE 方案，用户分阶段按需迁移。融合设备满足用户不换号要求，虚拟化基础设施在架构层面一步到位，通过最短路径演进避免重复建设投资。用户迁移过程中新建虚拟化融合设备与传统设备共存，如图 3 所示，方案涉及以下

表 4 5GC 主要 NF 引入策略及部署建议

5GC NF	与 EPC 网元对比	融合网元	融合部署分析	引入部署策略	组网及容灾方式
UDM	HSS	UDM/HSS	统一签约管理（涉及存量）	新建（云化）、vHSS 升级	BE: 1+1 FE: N+1
PCF	PCRF	PCF/PCRF	统一策略管理（涉及存量）	新建（云化）、vPCRF 升级	pool
SMF	MME 和 GW-C 会话管理功能	SMF/GW-C	统一会话锚点	新建（云化）、vGW-C 升级	pool
UPF	GW-U 用户平面功能	UPF/GW-U	统一用户面锚点	新建（云化或物理）、vGW-U 升级、传统 SAE-GW 升级	pool
AMF	MME 中 NAS 接入控制功能	AMF/MME	建议融合，统一信令接入锚点	新建（云化）、vMME 升级	pool
NEF	SCEF	NEF/SCEF	建议融合，统一能力开放	新建（云化）、SCEF 升级	1+1
NRF	5G 新引入，类似增强 DNS 功能	不涉及		新建（云化）	1+1
NSSF	5G 新引入	独立部署或与 AMF 合设		新建（云化）	1+1 或组 pool

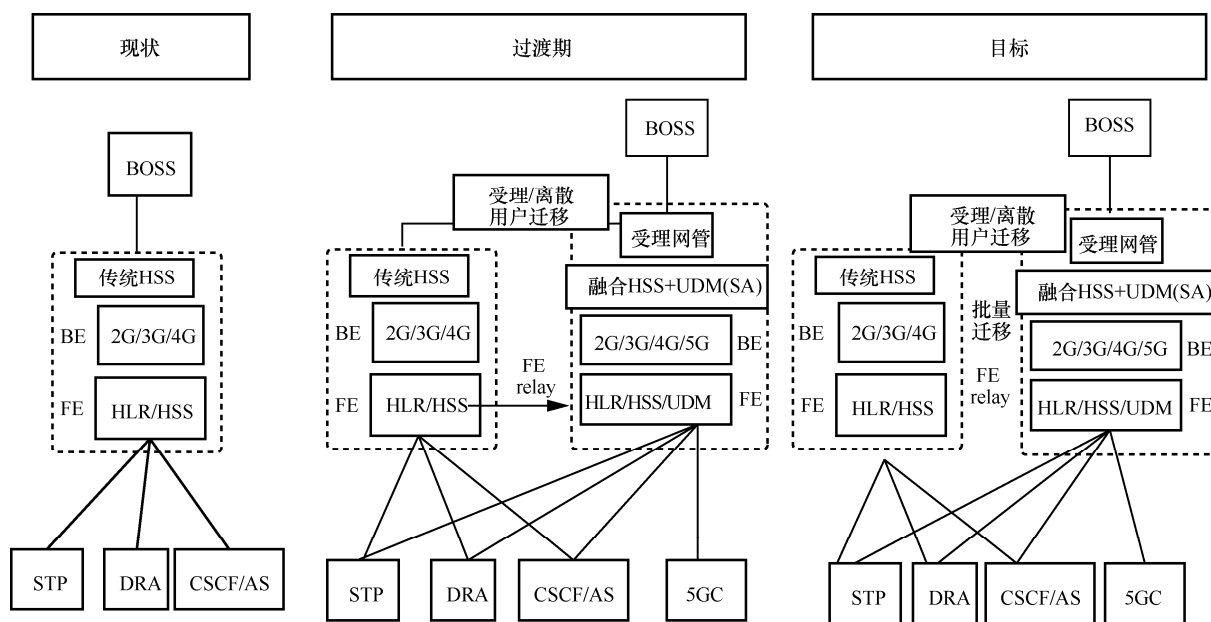


图3 5G的用户数据迁移方案

几个关键步骤。

(1) 新建虚拟化融合设备需部署受理网关, 主要完成离散用户自动迁移和业务支撑系统统一受理开通功能。

(2) 5G 初期用户规模较小, 采用标准的 FE relay 方案, 支持离散用户完成从传统设备向新建融合设备的迁移。为保持信令路由不变, 可优先在传统 HSS 支持 FE relay, 传统 HSS FE relay 5G 用户到融合 HSS。该方案无需对传统 HSS 设备扩容, 但需要评估对信令网的新增负荷。

(3) 5G 中后期按号段批量迁移用户, 快速完成传统 HSS 用户数据向融合设备的迁移, 对于已经迁移过的离散用户无需进行二次数据规整; 该方案可在完成用户数据迁移后, 再统一修改信令路由。

3.3.4 基础业务的继承

基础业务的继承主要指 5G 语音和短信。3GPP R15 提出了 EPS fallback 和 VoNR 两种主要的语音解决方案, 同时针对终端驻留在 eLTE 还提供了 VoLTE 和 RAT fallback 解决方案。如图 4 所示, 5G 网络针对不同场景提供了不同语音解决方案。

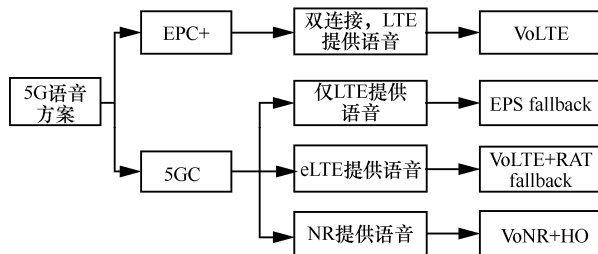


图4 5G 语音承载方案选择与演进路径

根据网络部署方案和终端能力, 5G 短信业务有 3 种可选方案: SMS over SG、SMS over IP 和 SMS over NAS。其中前两种方案在现网已经部署, 基本可以满足 5G 初期短信业务需要。方案三主要引入 SMSF 为 5GC 与短信业务系统提供交互, 短消息通过 UE 与 AMF 间的 NAS 信令传送。考虑到 mMTC 场景物联网对短信业务的大量需求, 建议短信中心与信令网同步升级支持 SMS over NAS。

从无线覆盖范围、终端成熟度、业务需求场景等角度考虑, 5G 语音初期优选 VoLTE 和 EPS fallback、逐步向 VoNR 目标方案过渡。初期 NSA 组网场景下, 4G 网络覆盖优于 5G, 建议 VoLTE 始终通过 4G 无线承载。对于不支持 IMS 协议栈的终端模组按需部署基于 SMSF 的短信解决方案。



3.3.5 5G 信令网的演进

4G 采用 Diameter 信令网旨在进一步简化网络配置,提供负载均衡、流量控制和会话绑定等功能。5G 也面临上述问题,由于 5G 核心网采用了互联网化协议,因此 5G 信令网引入 HTTP proxy。

基于以下考虑,5G 初期可暂不引入 HTTP proxy;待后续方案成熟,再考虑独立演进。

(1) 码号寻址可通过 NF 配置或查询 NRF 实现,在初期 NRF 处理能力不受限情况下,可基于 NRF 服务发现实现信令转接。

(2) 引入 HTTP proxy 进行链路汇聚可以降低 NF 的信令连接管理复杂度,但也带来一些额外的问题:例如汇聚后信令连接关闭、重建频繁;每次服务调用都需要经过 proxy 转接,引入时延;对 NF 存在路由功能要求等。

(3) 5G 会话绑定方案本身与 proxy 功能没有关联,没有引入会话绑定 proxy 的需求。5G 语音方案中 4G 和 5G 共用 IMS 网络,AF 仅支持 Rx 接口接入 DRA,且 DRA 无 5G 用户的会话绑定信息。5G 引入 BSF,通过 DRA 查询实现语音业务会话绑定。BSF 可以独立设置,也可以与 SMF 合设。

(4) 集中化建设,大区层面引入 proxy 进行链路汇聚和简化寻址可以降低 NF 的信令连接管理复杂度和 NRF 的处理负荷,但方案存在一定的复杂度且无标准支持。

由于 HTTP proxy 及 BSF 与 DRA 和 STP 存在功能差异且信令协议不同,可暂不考虑采用现有七号信令网和 Diameter 信令网演进支持。为解决 4G/5G 共 IMS 网络的 Rx 接口信令寻址问题,并避免 5G 对七号信令网的扩容需求,建议 DRA 升级支持 5G 服务化接口及短信 Diameter 接口。

3.4 网管编排的提升

通过编排器引入设计域、控制域以及资源管理与编排域,为编排器提供了核心能力。其中,

设计域实现对业务、网络等的设计、测试与发布;控制域基于 EMS/OMC、VNFM、控制器等,实现对网络的直接控制;资源管理与编排域实现动态编排、资源管理与配置激活。

NFVO+是下一代网络的编排管理入口和核心,VNFM 是 NFV 网络的核心功能组件,涉及虚拟化网元 VNF 的整个生命周期管理。与网络能力相匹配的网管支撑系统能够充分发挥未来网络的技术优势;通过自研有利于快速满足各类网络管理需求,提升对虚拟化网元、虚拟层、硬件层的管理和支撑能力。

4 结束语

面向 5G 的核心网部署建议采用“网络架构布局一步到位、网元功能平滑升级演进、容量流量逐步迁移调整”的策略。

在 5G 规划期积极实践 5G 技术 4G 化、夯实 NFV 及 SDN 基础,坚持三层解耦,推动虚拟层收敛,扎实推进软硬解耦实现电信网络硬件通用化、标准化和池化。基于中心+边缘的核心网目标架构,提前启动机房规划和改造,提供与分布式核心网相匹配的网络环境。

在 5G 引入期基于运营策略选择不同建设方式,无论是先部署 NSA 逐步向 SA 演进,还是直接部署 SA,抑或是 NSA 和 SA 并举,都应当明确网络定位,避免大规模二次改造。若采用 EPC+,建议控制现网改造规模;同等条件下优选虚拟化建设方式,支持网络升级演进。若部署 5GC,则需考虑简化方案;5GC IoT 接口数量超过 30 个,其中服务化接口超过 20 个,操作/消息组数量超过 200 条,如果按照标准协议,将会对现网部署、尤其是异厂商联调带来巨大工作量。因此建议在真正实现网络自动化部署之前,5G 核心网采用简化部署策略:针对初期商用非必须的网元和功能进行裁剪,对网络功能、接口根据商用需求进行合并,减少虚拟层与应用层厂商配对数量,在不

改变标准协议真实意图的情况下简化部分特性、流程,对于明确的需求、固化部分配置,具体步骤如下。

(1) 签约数据接口开放。5GC 控制面作为一个逻辑整体统一部署,仅实现基于 NRF 的签约数据服务化接口异厂商互通。

(2) 控制面主要网元间服务化接口开放。AMF、SMF、PCF 之间采用服务化接口,实现异厂商互通;辅助性网元与主网元同厂商统一部署,接口不开放。

(3) 全网元服务化接口开放。标准定义采用服务化接口的所有网元全解耦部署,支持端到端切片,支持包括 eMBB、uRLLC、mMTC 等全业务应用场景。

在 5G 发展期,不确定性因素逐步消除,5G 建设规模及投资力度逐步加大。5G 核心网能够充分发挥 5G 网络特性,通过网络切片形式对外提供服务化网络功能,不断推动网络从集中化向自动化及智能化演进。

参考文献:

- [1] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; system architecture for the 5G system [S]. 2018.
- [2] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; procedures for the 5G system [S]. 2018.
- [3] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; service requirements for the 5G system [S]. 2018.
- [4] 3GPP. Technical specification group core network and terminals; organization of subscriber data[S]. 2018.
- [5] 3GPP. Technical specification group core network and terminals; numbering, addressing and identification[S]. 2018.
- [6] 马洪源,肖子玉,卜忠贵. 5G 标准及产业进展综述[J]. 电信

工程技术与标准化, 2018(3).

MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G. 5G standard and industry progress review [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018(3).

- [7] 马洪源,肖子玉,卜忠贵. 5G 网络语音及短信解决方案[J]. 移动通信, 2018, 42(9): 27-32.

MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G. Voice and SMS solutions in 5G network [J]. Mobile Communications, 2018, 42(9): 27-32.

[作者简介]



马洪源(1984—),男,中国移动通信集团设计院有限公司高级咨询设计师,主要研究方向为移动通信核心网。



肖子玉(1969—),女,中国移动通信集团设计院总工程师、教授级高级工程师、院科学技术委员会委员、中国通信协会高级会员,主要研究方向为通信工程咨询、设计和研究。



卜忠贵(1976—),男,中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师、咨询设计总监,主要研究方向为移动通信核心网。



赵远(1986—),男,中国移动通信集团设计院咨询设计工程师,主要研究方向为通信工程咨询、设计和研究。