

5G 核心网的建设与演进

Constrution and Evolution Strategy for 5G Core Network

刘 雁(华为技术有限公司,上海 201206)

Liu Yan(Huawei Technologies. Co.,Ltd.,Shanghai 201206,China)

摘 要:

5G 将开启一个全连接、全业务的时代,核心网在 5G 网络中发挥着至关重要的作用,它将是全接入和全业务的使能中心。首先介绍了 5G 网络的 4 个关键技术特征:网络原生云化、网络分布化、全接入网络、切片网络,对每个技术的价值进行了展开描述。最后,针对 5G 网络部署演进给出了相关部署建议。

Abstract:

5G will open a fully connected, full-service era, and the core network will play a vital role in 5G network. It will be an all-access and full-service enabling center. It first introduces the four key technical characteristics of 5G network: Cloud Native, distributed network, full access network, slicing network, and the value of each technology is described. Finally, relevant recommendations are given for the deployment and evolution of 5G Core network.

Keywords:

Cloud native; CUPS; SBA; DevOps

关键词:

原生云化;控制面和用户面分离;SBA;DevOps

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2018.11.005

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2018)11-0023-06

引用格式:刘雁. 5G 核心网的建设与演进[J]. 邮电设计技术,2018(11):23-28.

0 引言

5G 将开启一个全连接、全业务的时代,核心网在 5G 网络中发挥着至关重要的作用,它将是全接入和全业务的使能中心。一方面,通过屏蔽网络接入的差异化,使现在以网络为中心的服务模式转变为以用户为中心的服务模式;另一方面,使 5G 网络能够通过网络切片为各行各业按需提供服务。面对新的机遇和挑战,当前核心网的革新重构已经势在必行。

1 5G 核心网四大关键特征

1.1 网络原生云化

云化转型是面向 5G 核心网发展的基础,做好云化转型可使 5G 网络建设更平稳、更高效,最大化实现 5G

新技术价值。业界在电信网络中引入 Cloud Native 概念,构筑“弹性”“健壮”和“敏捷”为目标的网络转型。目前全云化核心网已经完成了成功的商用实践,构建基于业务感知的弹性网络,实现资源按需分配,业务容量不受单一硬件物理限制,网络功能可动态快速生成并按需部署,以确保满足多种应用对网络的不同要求。整体设计理念主要包含如下 4 个考虑。

a) 无状态设计。通过将业务状态和会话数据从业务处理单元中分离出来,并存储在独立的分布式数据库中,实现业务处理单元的无状态设计,可以任意弹性伸缩,任意单个或多个业务单元故障对业务无影响,从而大幅提升虚拟化软件的弹性和健壮性。

b) 服务化解构。根据业务的应用场景和网络模型对虚拟化软件进行微服务解构,解构的粒度并非越小越好,重点是放在可独立升级、可独立扩缩、可重用上。5G 还在在 3GPP 标准化中引入了服务化框架

收稿日期:2018-10-26



(SBA),以实现网络功能的即插即用,网络会变得非常敏捷,能够快速部署满足客户业务需要的功能。

c) 轻量级虚拟化(容器)。容器作为轻量级虚拟化技术,在资源效率、性能、部署和启动速度、可迁移性等方面有着明显优势。虚拟机(VM)作为重型虚拟化技术,在安全性和资源隔离方面有明显优势。未来,容器和VM 2种虚拟化技术会并存,可根据应用本身特点进行选择。

d) DevOps 加快业务创新与上线。DevOps 可以打通设备商与运营商的开发和运维流程,实现网络快速部署上线、灰度升级、业务创新,从而提升运营效率,缩短业务上线时间。DevOps 当前还在实践中,打通设备商开发网络与运营商的运营网络是关键制约要素。

1.2 网络分布化

AR/VR 等新兴业务对网络时延、带宽和安全性等提出了更高的要求。通过核心网控制面和用户面分离(CUPS)构建分布式网络,将用户面下沉到业务边缘,可以极大地降低网络时延,提升用户体验;通过数据本地处理也可保证企业用户的数据安全,帮助运营商进入企业市场。

CUPS 架构已经在4G网络中开始实践,为5G网络的分布式架构奠定了基础,实现4G网络5G化。5G核心网基于CUPS实现分布式架构,统一控制面管理分布式的用户面,引入动态分流,APP协同能力,结合多接入边缘计算(MEC)等技术保证最佳的用户体验和商业实践。

当前业界已经有了成功实践,涉猎B2C到B2B到B2B2X多种行业,如IPTV Over WTTx、智慧工厂、智能场馆、移动办公及车联网等多种新业务新市场的商用实践和创新试点。

1.3 5G全接入网络

5G核心网使用统一的接口和统一鉴权,支持多种接入方式,如Wi-Fi、固定接入、工业接入,可以为运营商消除终端碎片化,简化网络运维,创新新商业模式。未来5G核心网还会支持TSN工业以太网接入,卫星接入,无人机接入等。

5G全接入对核心网也提出了三大关键诉求,首先是连接能力激增,根据行业咨询报告预测,5G将在当前网络基础上再接入8倍连接;其次是业务类型极端差异对网络处理能力提出的需求,从静止类型到游牧类型到高速移动类型;最后是业务模型不可预测,业务潮汐会更加频繁。这些都要求5G核心网在架构和

部署上进行变革,以确定的网络架构应对未来不确定的网络业务。

1.4 5G切片网络即服务

网络切片是5G关键原生能力,能够最大化提升通信网络的效能,降低网络建设和运维成本。5G时代“切片即能力、切片即产品”已经成为行业共识。核心网作为网络差异化体验和运营的关键锚点,在5G时代凸显出更加重要的网络地位。5G核心网提供网络功能和资源按需部署的能力,来满足未来垂直行业多样化的业务需求。在云化基础设施上,构建逻辑隔离的网络切片来服务不同的业务或者垂直行业。5G网络切片具备了“端到端网络保障SLA、业务隔离、网络功能按需定制、自动化”的典型特征。

a) 端到端SLA保障:5G网络切片由核心网、无线、传输等多个子域构成,网络切片的SLA由多个子域组成的端到端网络保障。网络切片实现多域之间的协同,包括网络需求分解、SLA分解、部署与组网协同等。

b) 业务隔离:网络切片为不同的应用构建不同的网络实体。逻辑上相互隔离的专用网络确保不同的切片之间业务不会相互干扰。

c) 功能按需定制、动态编排:5G网络将基于服务化的架构,同时软件架构也将进行服务化重构,以此形成网络可编排的能力。面向不同行业多样化的网络需求,5G网络可以提供按需编排的能力,为每个应用提供不同的网络能力。同时,5G网络的分布式特点可以根据不同的业务需求部署在不同的位置,来满足不同业务时延的要求。

d) 自动运维、多租户运维:自动化是网络发展的目标。相对于传统网络一张大网满足所有要求,5G通过切片技术将一张网裂变成多张网,理论上5G的繁荣必然会带来运维难度的大幅增加,因此自动化是5G网络必然要具备的一个特征。从节奏上来说,一次性地实现全自动化非常困难。通过分割网络切片生命周期中各个环节的操作,允许 workflows 中的每个环节都支持人工、半自动或者全自动的方式进行处理,伴随着用户网络规划能力的发展,以及网络的扁平化、简单化,最终达成自动化。网络切片允许向特定租户(比如行业用户)提供定制化的网络服务,租户对网络具备一定的操作管理能力。租户运维人员所具备的知识与能力模型与传统运营商运维人员不同,需要面向租户的运维人员提供易观察、易操作、易管控的运维



界面,实现租户的“自助服务”。

通过5G切片可以为终端用户、租户和运营商带来以下价值。

a) 终端用户:通过端到端切片网络的端管云协同提供的可保证的SLA,终端用户获得最佳的业务体验。

b) 租户:以资源共享为基础可以降低网络使用成本,通过隔离技术和按需部署可以实现端到端可保障的网络SLA,通过按需功能定制可以快速满足业务需求和业务的升级、演进,通过切片网络提供的开放能力实现简单的运维和网络能力的使用。

c) 运营商:最大化网络基础设施的价值,使能和开拓庞大的垂直行业用户群;通过资源共享、动态部署实现高效、快速建网,同时,业务上线和业务创新更加快捷,将促进新的产业生态环境的形成。

2 5G 核心网部署与演进

2.1 5G 架构概览

图1给出了5G核心网网络架构。

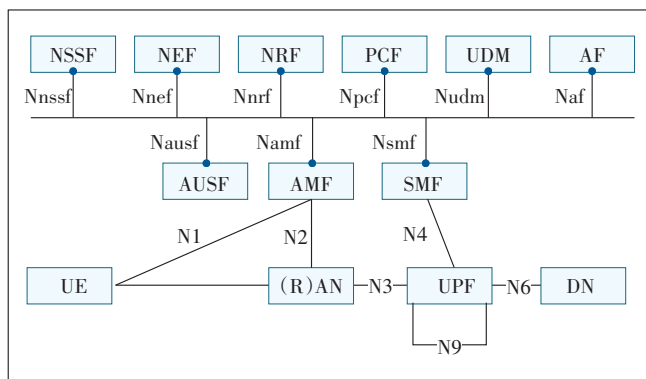


图1 5G 核心网网络架构

为了满足多种垂直行业和eMBB的需求,3GPP对5G核心网进行了全新的定义,网络架构关键技术和能力如下。

a) 服务化:5G控制面采用服务化架构,控制面功能解耦重构为多个网络功能,针对每个网络功能定义服务。

b) 控制面模块化:控制面功能进一步模块化,通过AMF和SMF实现了MM和SM的分离,鉴权部分功能独立为AUSF实体。

c) 用户面归一化:5G架构继承4G控制面用户面分离(CUPS)特性,用户面实体归一为UPF,不再有SGW/PGW等差异。

d) 网络切片:满足不同应用场景需求,切片间资

源隔离,各切片功能按需定制。

e) MEC支持:5G加强对MEC的支持,可通过上行分流(ULCL)、Multi-Homing等方式访问本地网络。

f) 统一鉴权:3GPP和非3GPP接入采用统一的鉴权机制,统一NAS。

其中,服务化架构成为5G核心网最重要的变革,网络功能基于模块化拆解,解耦的网络功能可独立扩容、独立演进、按需部署。同时,引入IT系统服务化/微服务化架构经验,实现服务自动注册和发现、调用、降低NF之间接口定义的耦合度,最终实现整网功能的按需定制,灵活支持不同的业务场景和需求。4G EPC架构和5G Core架构对比如表1所示。

表1 4G EPC架构和5G Core架构对比

	4G EPC	5G Core
灵活性/可扩展性	网络功能固化,缺乏灵活性和扩展性	统一接口模式、功能模块化可以做到即插即用
可编排性	对多种业务提供无差异的网络	服务化组件:不同的业务场景支持灵活的网络编排
接口	大量现网存量协议(SS7 diameter),接口可扩展性差	统一通过HTTP/2协议,可灵活扩展的接口
操作维护	配置复杂:Nf → Links → Parameters	自动部署/管理:NRF,新Nf即插即用

2.2 5G 核心网部署

为了满足运营商早期部署5G网络的需求,3GPP分2个阶段定义5G网络,在第1阶段中首先冻结Option 3 NSA标准,通过EPC增强支持移动超宽带业务,例如WTTx场景。第2阶段会冻结Option 2 SA标准,实现5G全新定义的服务化架构核心网,通过服务拆解和引入服务化框架实现服务自动注册,比4G网络更加灵活。

同时对于5G网络部署,3GPP给出了多种部署方式的选择,适用于不同的部署场景,包括Option 2、Option 3/3a/3x、Option 4/4a、Option 7/7a/7x四大类选项,其中Option 2中gNB单独组网,统称SA模式,Option 3/3a/3x、Option 4/4a、Option 7/7a/7x几种模式中采用4G LTE/5G NR双连接组网,统称NSA模式。SA和NSA是从RAN视角看解决方案,从核心网视角来看,主要包括5G NSA (Option 3)和5G 2个阶段,其中5G NSA (Option 3)具备接入Option 3/3x/3a的组网能力,5G具备接入Option 2、Option 7/7x/7a和Option 4/4a的组网能力。

2.2.1 Option 2

在Option 2中(见图2),5G系统独立于4G系统部



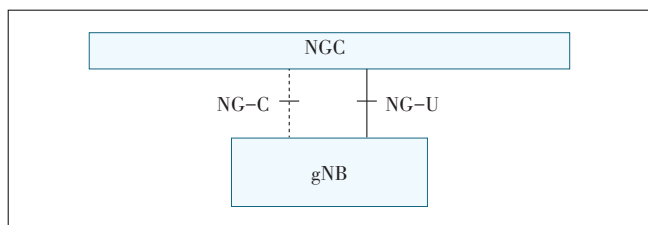


图2 Option 2示意图

署,对现网4G系统改动最小,eNB无需升级,eNB和gNB之间也无需配置X2接口,现网MME可选地升级支持N26接口,实现4G/5G的无缝切换。在5G部署初期阶段,Option 2适用于5G建网起步时就大力投资、实

现连续组网的运营商,由于5G独立组网,不依赖现有LTE网络,因此便于实现快速部署,同时对终端要求低,不需要终端支持NSA/SA双模,E2E成本可能降低。

2.2.2 Option 3/3a/3x

Option 3系列模式中核心网采用EPC升级的方式支持5G接入,UE使用EPC NAS,以eNB为信令锚点,适合5G初期覆盖逐渐增强的过程。Option 3系列模式主要支持eMBB类高带宽业务,不能支持uRLLC、动态网络切片等5G新业务。Option 3系列模式对现网改动最小,部分运营商通过采用Option3快速推出5G业务。Option3有Option 3/3a/3x 3种子场景(见图3)。

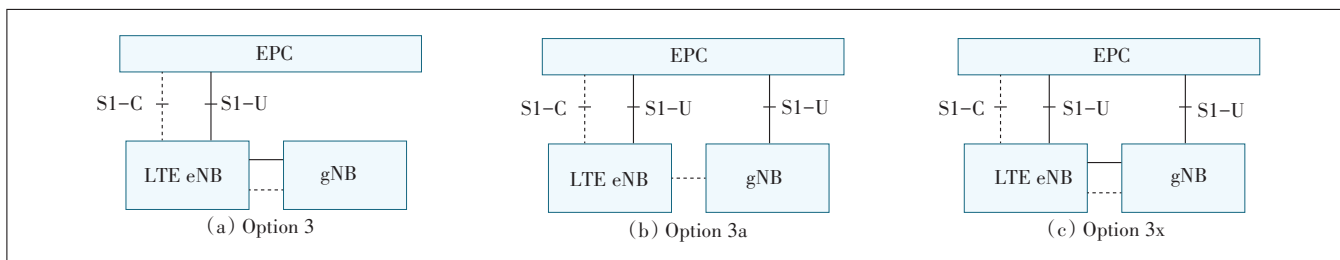


图3 Option 3/3a/3x示意图

a) Option 3模式中,S1-MME和S1-U接口都锚定在eNB,EPC不感知UE在4G/5G的移动性。数据分流点在LTE eNB,数据承载在eNB中进行切换,因此UE在4G/5G切换时对时延影响不大。当UE同时处于4G/5G覆盖时,RAN侧可以有2个空口承载同时为UE传递数据以增大带宽,因此需要eNB支持4G+5G的带宽,现网LTE eNB BBU需要硬件扩容支持这种模式。

b) Option 3a模式中,S1-MME锚定在eNB,4G的数据面锚定在LTE eNB,5G的数据面锚定在NR的gNB。eNB和gNB之间只有控制面连接,没有数据面连接,因此需要各自跟EPC建立S1-U数据面连接,下行数据的数据分流由EPC通过区分承载完成。

c) Option 3x模式中,S1-MME锚定在eNB,数据面可锚定在eNB或gNB,eNB和gNB之间同时有控制面和数据面接口,EPC根据eNB的指示切换S1-U承载。当UE在只有4G覆盖的区域时,UE使用LTE空口连接和eNB到EPC的S1-U连接,当UE在4G/5G重叠区时,S1-U承载切换到gNB,空口可以在4G/5G分流,当5G空口质量变差时,gNB可以把流量卸载到eNB,也可以把S1-U承载也切换到eNB。这种模式能动态灵活调配eNB和空口资源,大多数运营商选取Option 3x作为初期部署方案。

2.2.3 Option 4/4a

图4给出了Option 4/4a模式示意图。

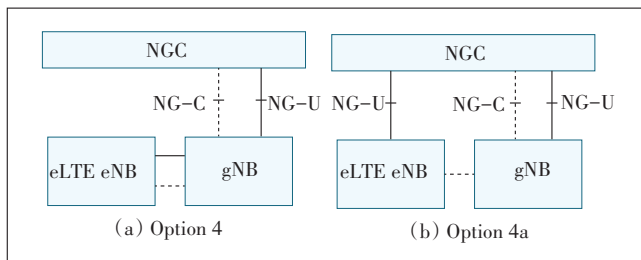


图4 Option 4/4a示意图

Option 4模式中控制面和数据面都从gNB出接口到5GC,eLTE eNB和gNB之间建立控制面和数据面连接,下行流量由gNB实现动态分流。由于控制面锚定5G网络和gNB,这种模式是以5G广覆盖为基础的,5G早期阶段一般不会部署。

Option 4系列模式需要部署5G核心网,对于RAN,除了要部署5G gNB外,还需升级现网LTE eNB为eLTE eNB,支持5G接口跟5GC对接,信令面锚定在gNB,适合5G NR实现连续覆盖的场景。Option 4系列模式能支持eMBB、uRLLC、网络切片等全部5G业务。

Option 4a模式中,eLTE eNB和gNB都出数据面接口,eLTE eNB和gNB之间没有数据面接口,因此通过5GC实现分流,5GC无法感知空口状态,无法根据空口状态实现动态分流。



相比之下, Option 4 模式, 能够实现动态分流、效率更高, 因此建议 Option 4 作为该系列选型的首选。

2.2.4 Option 7/7a/7x

如图 5 所示, Option 7 系列模式需要部署 5G 核心网, 除了要部署 5G gNB 外, 还需升级现网 LTE eNB 为

eLTE eNB, 支持 5G 接口跟 5GC 对接, 信令面锚定在 eLTE eNB, 适合 5G 部署初期, NR 覆盖不连续, 通过 4G 实现连续覆盖的场景, Option 7 系列模式能够支持 eMBB、uRLLC、网络切片等全部 5G 业务。

a) Option 7 模式中和 Option 3 有些类似, 信令面和

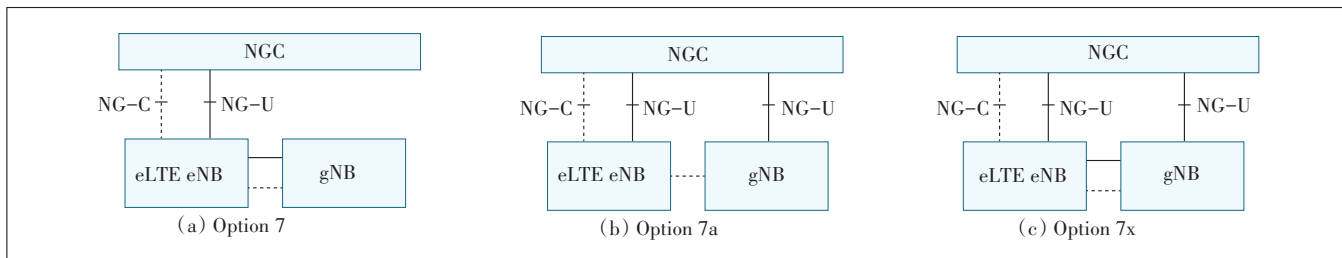


图 5 Option 7/7a/7x 示意图

数据面接口都锚定在 eLTE eNB, EPC 不感知 UE 在 4G/5G 的移动性。数据分流点在 eLTE eNB, 数据承载在 eLTE eNB 中进行切换, 因此 UE 在 4G/5G 切换时延时影响不大。当 UE 同时处于 4G/5G 覆盖时, RAN 侧可以有 2 个空口承载同时为 UE 传递数据以增大带宽, 因此需要 eLTE eNB 支持 4G+5G 的带宽, 现网 LTE eNB 的 BBU 需要硬件扩容支持这种模式。

b) Option 7a 模式和 Option 3a 有些相似, 信令面锚定在 eLTE eNB, 4G 的数据面锚定在 eLTE eNB, 5G 的数据面锚定在 gNB。eLTE eNB 和 gNB 之间只有控制面连接, 没有数据面连接, 因此需各自跟 5GC 建立数据面连接, 下行数据分流由 EPC 通过区分承载完成。

c) Option 7x 模式和 Option 3x 有些相似, 信令面锚定在 eLTE eNB, 数据面可锚定在 eLTE eNB 或 gNB, eLTE eNB 和 gNB 之间同时有控制面和数据面接口, 5GC 根据 eLTE eNB 的指示切换数据承载。当在只有 4G 覆盖的区域时, UE 使用 4G 空口连接和 eLTE eNB 到 5GC 的数据连接; 当 UE 在 4G/5G 重叠区时, 数据承载切换到 gNB, 空口可以由 gNB 在 4G/5G 分流, 当 5G 控制质量变差时, gNB 可以把流量卸载到 eLTE eNB, 也可以把数据承载切换到 eNB。这种模式能动态灵活调配资源, 被作为采用 Option 7 系列 NSA 部署的推荐方案。

经过分析, Option 3 和 Option 7 对 LTE eNB 或 eLTE eNB 有较高的升级要求, 做大带宽业务分流对 eNB 要求高, 现网设备可能无法支持或做较大改动, 运营商一般不会选择。Option 3a、Option 4a、Option 7a 中, RAN 和 UE/Core 之间是 2 条链路 (RAB/DRB), 无法做到动态数据分流, 数据需要在 UE/Core 上做分流处

理。UE 移动时候, 会出现其中一条 (无线覆盖范围小的) 链路需要频繁重建, 影响业务体验, 因此运营商也不会选择。总结下来, Option 3x、Option 7x、Option 2、Option 4 是相对合适的部署选项, 但具体采用哪种部署方式取决于运营商的频谱和无线网络建设投资。

2.3 5G 核心网演进

总体来看, 大部分运营商会根据自身业务的发展情况选择 5G 核心网功能演进的方式, 有一些运营商选择先升级成 EPC+支持移动超宽带业务, 后续建设 5G 核心网, 还有一些运营商会选择直接建设 5G 核心网。所以在部署核心网的时候会考虑分成 2 个阶段实施。

2.3.1 5G NSA (Option 3) 部署方案

部分运营商选择 Option 3 作为 5G 初期建设的过渡阶段, 对现网 EPC 核心网进行软件升级或者引入云化来实现。Option 3 组网对 EPC 网络的关键需求如表 2 所示。

EPC 有多种方案 NSA (Option 3) 部署方案, 在选择 NSA 部署方案时, 需考虑 NSA EPC 方案要向 5GC 的目标方案演进, 而 5GC 对系统架构的典型要求包括“云化部署”和“CUPS 架构”, 因此在部署 5G NSA 方案时要考虑向 5GC 的可演进性。

2.3.2 5GC 部署方案

考虑用户平滑迁移和 4G/5G 互操作, 5GC 目标网络应该支持 4G/5G 融合接入和互操作, 图 6 是 3GPP 协议定义的 4G/5G 互操作网络架构。

为支持业务连续性, 即同时支持 4G 和 5G 接入, 部署原则如下。

a) HSS+UDM 融合, 保证 4G/5G 互操作过程中用户数据一致性。



表2 NSA(Option 3)关键需求

Feature	功能描述	EPC网元	应用场景
双连接接入(DCNR)	MME/SGW支持eNB发起的承载更新请求(E-RAB Modification Indication),通知SGW更新S1-U通道	MME,SGW	Option3a/3x组网必须功能
5G双连接NR接入限制	基于HSS(ARD)签约或MME本地策略灵活控制终端是否使用NR	MME,HSS	运营商可以灵活控制用户是否接入NR,获得高速体验,如签约5G套餐用户才能接入NR
单用户高带宽QoS签约和转发(>4 Gbit/s)	EPC支持扩展QoS参数签约和传递;SPGW支持单用户大带宽;MME选择支持DCNR和SPGW	MME,HSS,PCRF,SPGW	单用户带宽10 Gbit/s以上。注:4G支持签约最大4G,具体能力有UE Category决定
计费	NR使用量单独统计并包含在话单中	MME,SPGW,CG	NR流量单独计费,如NR流量打折,鼓励用户使用5G
运维	NR使用量性能统计,上报OSS	MME,SPGW	网络流量可视化,指导网络规划和市场营销

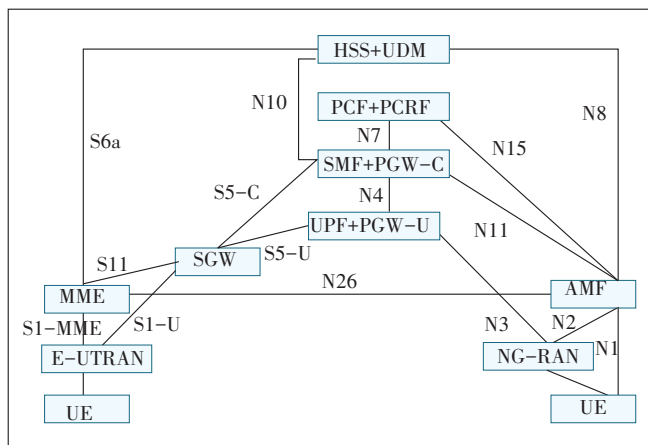


图6 4G/5G互操作网络架构

b) PCRF+PCF融合,保证4G/5G互操作过程中策略一致性、连续性。

c) SMF+PGW-C融合,UPF+PGW-U融合,保证4G/5G切换过程中锚点和IP地址不变,保持IP会话连续性。

d) AMF和MME 2个逻辑网元可以独立部署也可以融合部署。

2.3.3 5G语音方案

5G语音解决方案已经在R15标准定义完成。考虑到5GC部署初期网络能力的差异,标准中提出EPS Fallback和RAT Fallback方案。前者是从5GC回落EPC,后者是在5GC下从NR回落LTE。2个方案的核心是:当收到IMS语音建立请求时,RAN启动EPS或RAT回落;等回落完成,SMF重新发起IMS语音资源建立请求,完成IMS语音呼叫过程。该方案部署实现中,不同运营商有不同的诉求,具体如下:

a) 部分运营商希望减少EPC和5GC耦合,可能不会部署5GC AMF和EPC MME间的接口,此时依赖UE触发Handover attach回落EPS,语音切换时延会有所增加。

b) 对于普通呼叫,回落EPS或LTE是由RAN控制。对于紧急呼叫,在北美运营商要求下,增加了UE控制回落EPS或LTE的方案。方案核心是:UE发起紧急呼叫回落请求,5GC通知RAN启动回落。

上面讲述的都是以4G为基础覆盖网,但为了支持部分运营商网络没有4G网络或者没有部署VoLTE或者VoLTE没有全网覆盖而5G覆盖范围和LTE有交叠而非LTE子集的场景,3GPP R16启动5G到3G语音业务连续性的研究。当前SA1/SA3/SA2都已经或正在立项讨论中,目前无明确结论。

3 结束语

5G网络不仅是技术的变革,更是商业的使能。5G时代的商业范围将从大众市场拓展到垂直行业,驱动社会经济价值大幅提升,并给运营商带来新的商业机会。与此同时,面对垂直行业千差万别的业务诉求,运营商需要构建极致敏捷的运营能力和灵活的网络架构来应对瞬息万变的市场需求。

参考文献:

- [1] System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 15): 3GPP TS 23.501 [S/OL]. [2018-08-05]. <ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] Procedures for the 5G System; Stage 2 (Release 15): 3GPP TS 23.502 [S/OL]. [2018-08-05]. <ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 赵伟. 5G核心网:使能运营商面向全行业的数字化转型[J]. 华为技术, 2018 (80).

作者简介:

刘雁,高级工程师,主要从事5G核心网研究,包括网络架构演进、网络切片等关键技术以及5G垂直市场洞察工作。

