



5G 核心网规划建设 的挑战及策略

Challenges and Strategies of 5G Core Network Planning and Construction

肖子玉 /XIAO Ziyu

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)
(China Mobile Group Design Institute Co., Ltd, Beijing 100080, China)

摘要: 结合 5G 标准产业的进展, 提出 5G 核心网规划建设所面临的挑战, 并对其中非独立组网 (NSA) / 独立组网 (SA) 架构的选择、用户业务的继承性、面向未来发展策略等关键问题进行深入分析和探讨。提出了面向个人用户和垂直行业用户进行融合数据面、控制面、用户面的网络规划策略, 以及实现面向 5G 网络基础设施的云化转型、2G/4G/5G 协同发展和 5G 用户国际漫游的规划建设策略。

关键词: 5G 核心网; 规划; 策略

Abstract: Based on the progress of 5G standard industries, the challenges of 5G core network planning and construction are put forward. The non-standalone (NSA)/ standalone (SA) architecture selection, user business inheritance, future-oriented development strategy and other key issues for 5G core network are analyzed and discussed in depth. Then the network planning strategy to integrate data surface, control surface and user surface for individual users and vertical industry users, as well as the planning and construction strategy which achieve cloud transformation for 5G network infrastructure, 2G/4G/5G collaborative development and 5G users international roaming is proposed.

Keywords: 5G core network; planning; strategy

DOI: 10.12142/ZTETJ.202003004

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200622.1239.006.html>

网络出版日期: 2020-06-22

收稿日期: 2020-04-12

1 5G 标准和产业进展

3GPP 5G 标准 R15 版本聚焦增强移动宽带 (eMBB) 业务, 主要定义了 5G 全新网络架构, 包括网络切片、服务化架构、边缘计算架构、移动性管理、会话管理分离和基于流粒度的服务质量 (QoS) 设计等。R15 定义了与网络部署相关的 3 大网络架构: 基于 4G 核心网 (EPC) 的新空口 (NR)

双连接架构——R15 NR 非独立组网 (NSA)、基于 5G 核心网的独立组网架构——R15 NR 独立组网 (SA) 以及基于 5G 核心网的 NR-LTE/LTE-NR 双连接架构 (R15 Late Drop)。R15 NR NSA 和 R15 NR SA 的标准均已于 2017 年 12 月和 2018 年 6 月冻结; R15 Late Drop 版本也已于 2019 年 3 月冻结。

3GPP 5G 标准 R16 和 R17 版本聚

焦垂直行业应用。R16 版本标准主要包括增强超可靠低时延通信 (URLLC)、增强车用无线通信技术 (eV2X)、物联网 (IoT) 支持和演进、5G 局域网、5G 定位和位置服务、网络自动化等。R16 标准预计于 2020 年 6 月冻结。5G R16 标准完成后, 基于 R16 及后续 R17 的 5G 核心网才真正能够实现 eMBB、URLLC、海量大连接 (mIoT) 3 大场景网络能力, 全面支撑 5G 面向

垂直行业的发展。

2 5G 核心网规划建设面临的挑战

2.1 5G NSA 和 SA 的选择

目前 R15 NSA 和 SA 架构是标准及产业成熟度较高的两种架构，如图 1 所示。其中，NSA 架构采用 4G EPC 增强控制 5G NR，以支持终端双连接；SA 架构采用全新 5G 服务化核心网架构。2019 年已商用的 5G 网络主要采用 NSA 技术架构，该方案的优势是 5G 先发部署。建网初期，在 5G 覆盖不足的情况下，采用 NSA 架构可充分发挥 4G/5G 协同优势，由 LTE 基站保证用户流量的承载。由于采用和 4G 共用 EPC 核心网，对于没有签约的 5G NSA 终端，只要网络归属签约用户服务器（HSS）/增强移动性管理实体（MME+）默认允许 NSA 接入，在 5G NR 覆盖区的用户可以建立至 NR 的 5G 承载，接入 5G 网络体验 5G 业务。

5G SA 定义了 5G 全新网络架构，包括网络切片、服务化架构、边缘计算架构、移动性管理、会话管理分离和基于流粒度的 QoS 设计。这些架构功能在 R16 标准中被进一步增强，满足了 URLLC 和 V2X 等需求。5G SA 架构的核心网是革命性的变革，产业成熟度低；因此，大多数运营商将 5G SA 架构作为 5G 网络的目标架构。以中国移动为例，2019 年 5G 开始商用，主要采用 NSA 架构，并基于 4G EPC 来部署 5G NSA 网络；同时，面向垂直行业进行 5G SA 预商用，推进 SA 架构 5G 核心网的成熟。

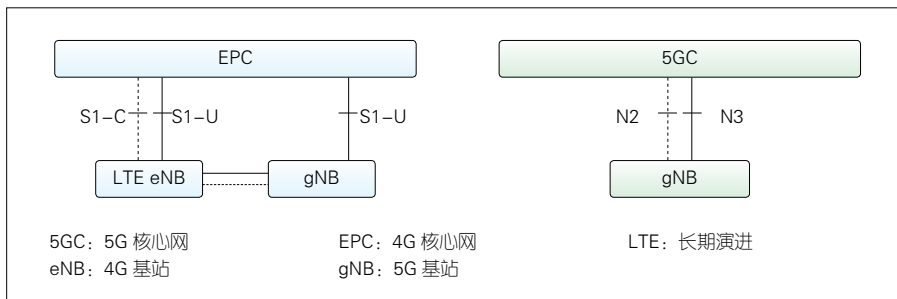
2.2 5G 与 4G 的互操作

移动通信换代时都需要满足一个基本要求，即用户不换号。从 4G 到 5G 的网络演进也不例外。移动通信的用户数据存储

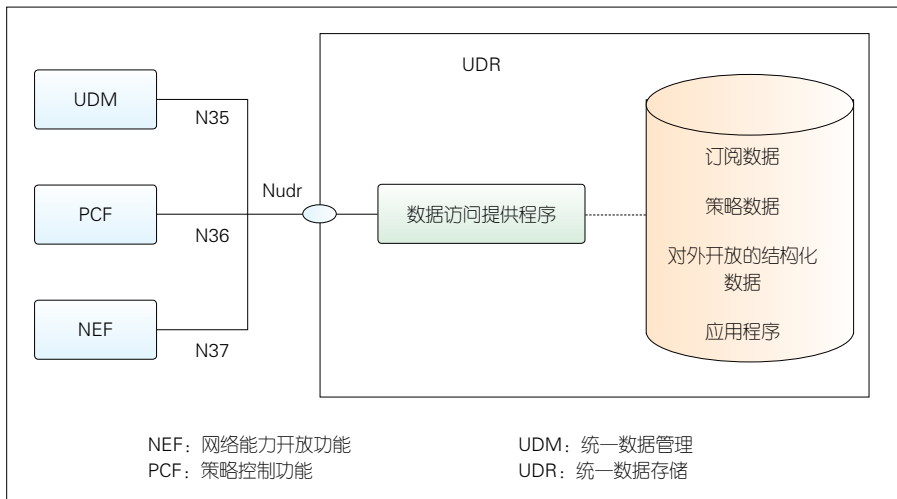
在 4G 用户开通 4G 语音承载（VoLTE）业务，那么还会涉及到 IP 多媒体子系统（IMS）HSS 设备。现网中为实现用户业务的继承和兼容性，这些用户数据设备以不同方式形成融合网元，即 2G/3G/4G/VoLTE HSS/ 归属位置寄存器（HLR）。当 5G 采用 SA 架构建网时，5G 核心网是一个服务化架构、全云化的网络。其中，用户数据功能统一数据存储（UDR）/统一数据管理（UDM）也是云化网元，要实现 4G 用户不换号也能使用 5G 业务的目标，同样需要融合的用户数据网元。图 2 给出了 3GPP 定义的 5G 用户数据存储架构。

3GPP R15 5G SA 标准定义了 4G/5G 的互操作架构（如图 3 所示），即 4G/5G 融合的 UDM+HSS，以便实现用户的统一签约和统一鉴权管理：

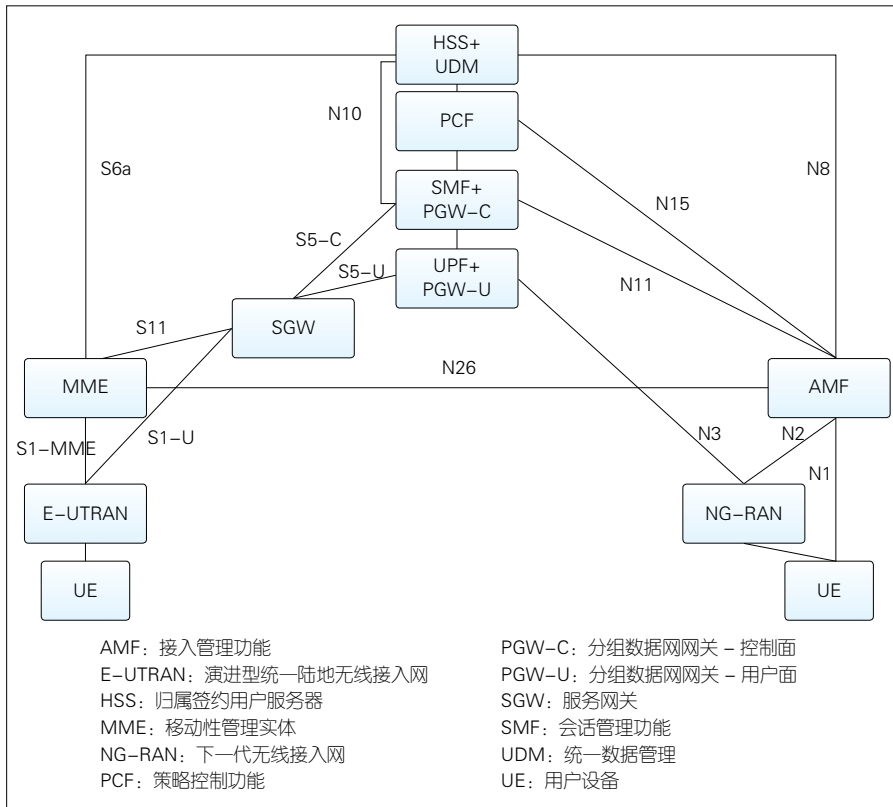
融合的策略控制功能（PCF）+ 策略与计费规则功能单元（PCRF），可以实现用户的统一策略管理；融合的会话管理功能（SMF）+ 分组数据网网关-控制面（PGW-C），可以实现用户的统一会话管理和统一锚点选择，从而实现 4G/5G 切换的业务连续性；融合的用户面功能（UPF）+ 分组数据网网关-用户面（PGW-U），实现统一的用户面隧道锚点功能，保证 4G/5G 切换的业务连续性。因此，在 5G 网络建设中不仅用户数据网元 UDM/UDR 需要与 2G/3G/4G/VoLTE 融合，以上策略管理网元 PCF/UDR、会话管理网元 SMF、用户面网关 UPF 均需与 4G 形成融合网元；而 5G 核心网的服务化和云化新架构与 2G/3G/4G 核心网的融合也将会为 5G 网络的建设带来一些重大挑战。



▲ 图 1 R15 新空口非独立组网和独立组网技术架构示意图



▲ 图 2 3GPP 定义的 5G 数据存储架构图^[1]



▲图 3 3GPP 定义的 4G/5G 互操作架构（无漫游）图¹¹

2.3 5G 面向个人用户和垂直行业用户

经济社会发展对信息通信技术的需求越来越迫切。5G 等信息技术与实体经济深度融合，将促进智能连接、云网融合等贯穿到各行各业生产经营各环节，充分发挥对经济发展的放大、叠加、倍增作用，激发经济增长新动能。因此，5G 的使命不仅是满足个人用户（ToC）的需求，改变生活，更重要的是满足垂直行业（ToB）信息化和智能化需求，改变社会。

3GPP 面向垂直行业应用的两大场景（URLLC 和 mMTC）均未在 3GPP R15 版本中完成标准化。在现阶段基于 R15 版本的 5G 网络建设中，5G 能够满足 mMTC 场景的需求；URLLC 的场景将在 R16 版本的 5G 标准中完成，低功耗 mMTC 场景的优化和演进，将在 R17 版本完成。因此，面向 ToB 市场的需求，运营商近期将继续依靠现有

窄带 - 物联网（NB-IoT）和增强机器类通信（eMTC）技术演进。同时，5G 网络建设还要协同 2G/4G 物联网的建设和演进，通过 5G 网络切片能力，满足部分场景 ToB 用户的需求，实现未来 2G/4G/5G 物联网的逐步融合发展。

2.4 5G 用户需要实现国际漫游

2019 年，已有韩国、英国、欧洲等多个国家或地区实现了 5G NSA 架构的商用网络服务。根据韩国科学技术信息通信部发布的信息，截至 2020 年 2 月 28 日，韩国 5G NSA 用户数已达 536 万。目前国际上商用 5G 网络已发展了大量的 5G NSA 用户。要实现国际用户能够漫游在中国的 5G 网络中，那么中国也需为 5G NSA 用户保留 NSA 网络。即使中国在 2020 年抢先实现 SA 架构的 5G 网络规模商用，为了保证国际用户能够在中国 5G 网络漫游，依然

需要保留 NSA 架构网络和足够的覆盖能力。这也将是 5G 核心网建设的另一个挑战。

3 5G 核心网规划建设策略和关键问题

3.1 2G/3G/4G/5G 融合数据面的建设策略

要实现在用户不换号的条件下，网络从 4G 升级到 5G，则需要实现用户数据的融合。现网是 2G/3G/4G 的融合网络，所以融合用户数据和融合策略数据的建设策略需要涵盖现网 2G/3G/4G/VoLTE 的用户数据和现网 4G 的策略数据。数据融合的建设目标和建设策略应以终为始，实现云化用户数据、策略数据的融合和现网数据的迁移。

对于 ToC 用户，主要用户来源为 4G 换机用户和已成为 5G NSA 的用户，对于此类用户需实现 2G/3G/4G/5G/VoLTE 的融合数据层建设和用户数据的迁移。根据工业和信息化部公布的 2020 年 1—2 月通信业经济运行情况数据看，截至 2 月底，3 家基础电信企业的 4G 用户规模为 12.62 亿户。从 3G 到 4G 的网络升级中，4G 用户数据的迁移持续 1~2 年的时间；而面向 5G 用户数据迁移难度更大，从设备形态到网络架构都在云化转型，使得现网网元升级不可行。建设策略^[2]有以下几种：策略 1，以大区或省为单位新建云化融合用户数据网元 HLR/HSS/UDM/UDR 来替换现网融合 HSS/HLR。云化融合用户数据网元的建设规模需要满足所替换设备的全部容量。对于后端设备（BE）存储数据库，采用云化融合 HSS/HLR/UDR 替换传统 HSS/HLR 后端数据库；对于前端设备（FE）信令处理模块，采用云化 UDM/HSS/HLR FE 设备一次性替换现网 HLR-FE 和

HSS-FE, 分别处理不同用户的用户数据接入信令。该策略较适用于现网设备运行年限较长、临近退网或满足折旧期限要求的情况。由于策略 1 采用替换方案, 导致初期建设规模增大, 先期的建设成本较高; 但优势是可以一步到位达到目标架构, 网络架构清晰简洁。

策略 2, 以大区或省为单位新建云化融合 HLR/HSS/UDM/UDR 设备, 容量满足本期工程预测的 5G 用户规模需求, 并与现网 HSS/HLR 混合组网, 实现 2G/3G/4G 用户开通 5G 后的逐步数据迁移。在该策略下, 与新建设备配对迁移的现网 HSS/HLR, 需要改造支持与新建设云化融合 UDM/UDR 间的接口。当 4G 用户开通 5G 时, 该用户的签约数据写入新建融合 HLR/HSS-BE/UDR 数据库中。当用户漫游在 4G 网络使用业务时, 服务于该用户的 4G 移动性管理实体 (MME) 设备向现网 HLR/HSS 请求鉴权和签约数据, 现网 HLR/HSS 通过新建融合 UDM/UDR 设备间接口获取用户数据。该策略较适用于现网设备版本较新、在网运行时间不长的场景。该策略无须提前进行用户数据迁移, 而是当用户更换 5G 手机后, 逐步将用户数据迁移至新建融合 UDM/UDR 数据库中。该策略可随用户换机规模逐步建设, 先期建设成本与 5G 用户发展规模相关, 可以有效利用旧现网设备资源, 减少先期投入; 但该策略由于需要新旧用户数据设备间开放接口, 接口需要进一步规范, 实施上存在一定风险。

还有一些其他的非标私有定制化方案, 在此不一一赘述。综上所述, 5G 核心网 ToC 用户数据层的建设应根据 5G SA 业务需求, 统筹考虑数据迁移场景、投资效益等因素后再进行选择, 且针对不同区域可以选择不同方案。对于 5G 面向 ToB 用户, 采用物联

网号段且均为新用户, 不涉及现有用户数据迁移问题。

3.2 5G 策略数据融合建设策略

在 3GPP 定义的数据存储架构中, 5G 用户数据、策略控制数据、能力开放数据等均存储在统一的后端数据库 UDR 中, 如图 1 所示。因此, 在建设策略中不仅要考虑策略控制数据 4G/5G 的融合建设, 还要考虑用户数据和策略数据是否融合建设。考虑到用户数据和策略数据现网网元厂家分布不同, 跨厂家数据迁移难度大; 因此, 5G SA 网络建设初期可以暂不考虑用户数据和策略控制数据后端数据库网元的融合设置。为实现 4G/5G 网络互操作, 5G 策略数据网元 PCF/UDR 需实现与 4G 策略数据网元 PCRF/ 签约数据仓库 (SPR) 的融合。4G 的用户策略需迁移到 4G/5G 融合的云化策略控制网元中, 建设策略与 3.1 节用户数据融合相似, 主要有以下几种:

策略 1, 以大区或省为单位, 新建与 4G 融合的 PCF/UDR, 以替换现网 PCRF/SPR 设备。

策略 2, 以大区或省为单位, 新建的 4G/5G 融合 PCF/UDR 与现网 PCRF/SPR 混合组网, 同时须升级现网 PCRF/SPR, 以支持与新建融合 PCF/UDR 设备的接口。

无论采用以上哪种建设策略, 与用户数据融合不同的是: 策略控制数据由于控制策略个性化强, 现网数据业务控制策略多, 异厂家替换工作量大且周期长, 风险较大; 因此, 无论采用策略 1 还是策略 2, 均需要考虑实施风险。

3.3 5G SA 核心网全云化网络建设策略

5G 移动网络是一个电信级的基础网络, 它要求云化网络的云计算基础设施具备电信级高可用性和异地容

灾能力。5G SA 核心网虚拟网络功能 (VNF) 部署在 NFV 云计算资源池中, 它面向大众市场和垂直行业提供 5G 服务。5G 网络面向 ToC 和 ToB 用户的多样化需求可通过网络切片技术实现, 在 5G 核心网建设中, 需要考虑 5G 与现网 2G/3G/4G 融合核心网以及 2G/3G/4G/NB 物联网的协同发展^[3]。5G SA 核心网控制面网元包括接入管理功能 (AMF)、SMF、网络切片选择功能 (NSSF)、服务注册管理功能 (NRF)、融合计费功能 (CHF) 等, 它们均为服务化网元, 对外提供服务化接口, 其部署策略如下^[4]:

1) AMF 和会话管理功能 (SMF/网关-控制面) VNF 分别服务于特定区域的基站, 可以省或地市为单位集中部署于省或大区中心资源池。

2) NSSF 用于网络切片选择, 可以省或大区设置。

3) NRF 主要完成 VNF 服务注册、管理和发现, 可以省或大区设置。当需要跨省或跨大区服务发现时, 可采用 NRF 网状联接或分级部署。

4) CHF 与网络侧接口实现在线和离线计费部分功能, 可与 SMF 同区域部署。当多个 CHF 需要被选择和路由时, 可采用直接配置局数据的方式或采用设置 NRF 提供服务注册和服务发现功能来实现 CHF 的发现和选择。

5G SA 核心网用户面为 4G/5G 融合网元 UPF/网关-用户面 (GW-U), 其部署策略为: 用户面网元 UPF/GW-U 通过 N3 接口直接与基站相连, 通过 N4 接口与 SMF 通信。UPF/GW-U 可以省、地市为单位部署, 当部署在地市不能满足业务时延需求时, 可向边缘扩展。由于目前 N4 接口不开放, 当 UPF 向边缘扩展时, 需与辖区 SMF 同厂家。

5G SA 核心网需要与 4G EPC 核心网进行互操作, 因此还需要现网 4G

EPC 进行升级改造。

3.4 5G SA 核心网用户面 N4 接口开放策略

为实现 5G 面向垂直行业的发展和支撑，5G 引入了边缘计算能力。边缘计算架构可实现 5G UPF 网关下沉到就近用户位置，实现低时延和数据分流应用^[5]。5G SA 核心网形成集中化的控制面和分布式的用户面的部署架构。用户面 UPF 需要控制面 SMF 的会话控制，来完成会话建立和策略的执行。它们之间的 N4 接口为厂家内部接口，实现流量的实时统计和上报、会话建立命令的下发和执行等多种功能。N4 接口为非开放接口，因此 5G 集中部署的核心网 SMF 需要与分布式部署的 UPF 同厂家设置，这为未来的网络建设和面向垂直行业的发展带来了挑战和限制。中国移动已牵头成立 OpenUPF- 面向垂直行业的 5G UPF 及 N4 接口开放合作伙伴计划，意在解耦 N4 接口，使得用户面 UPF 面向垂直行

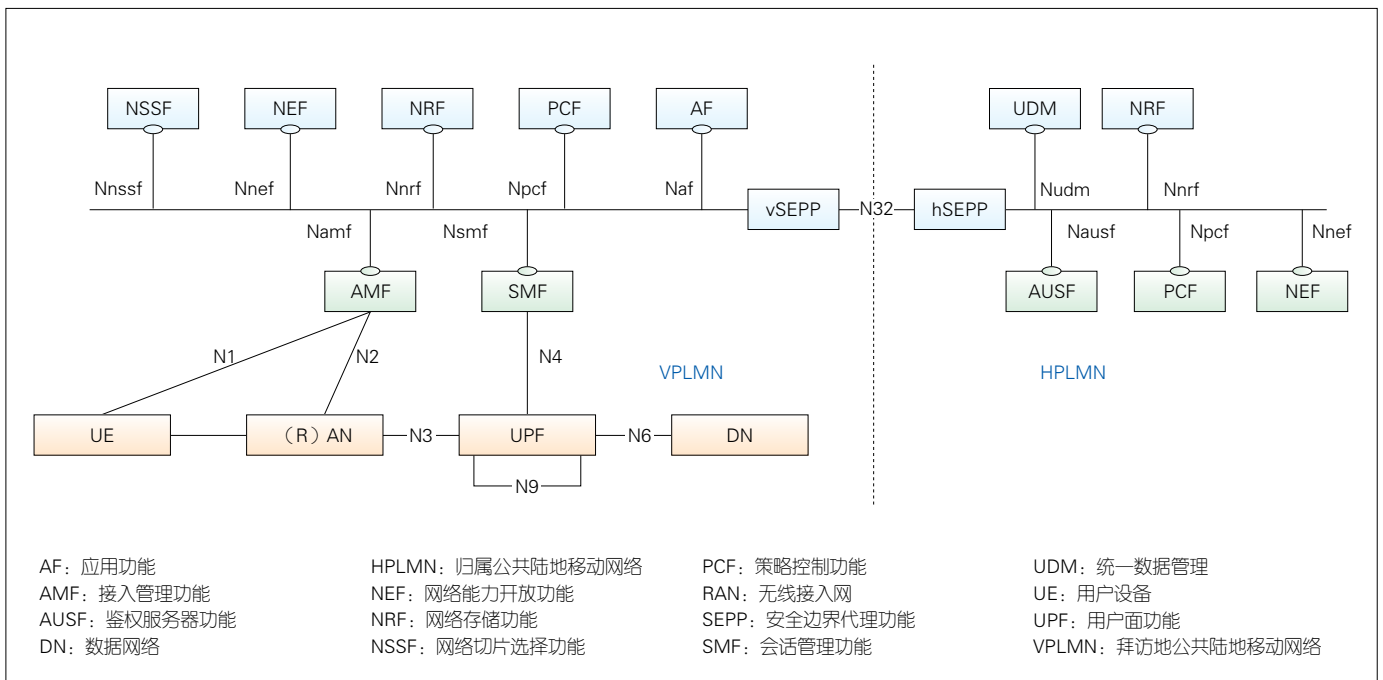
业的边缘节点功能更简单，未来的部署更加灵活。

3.5 5G 用户实现国际漫游策略

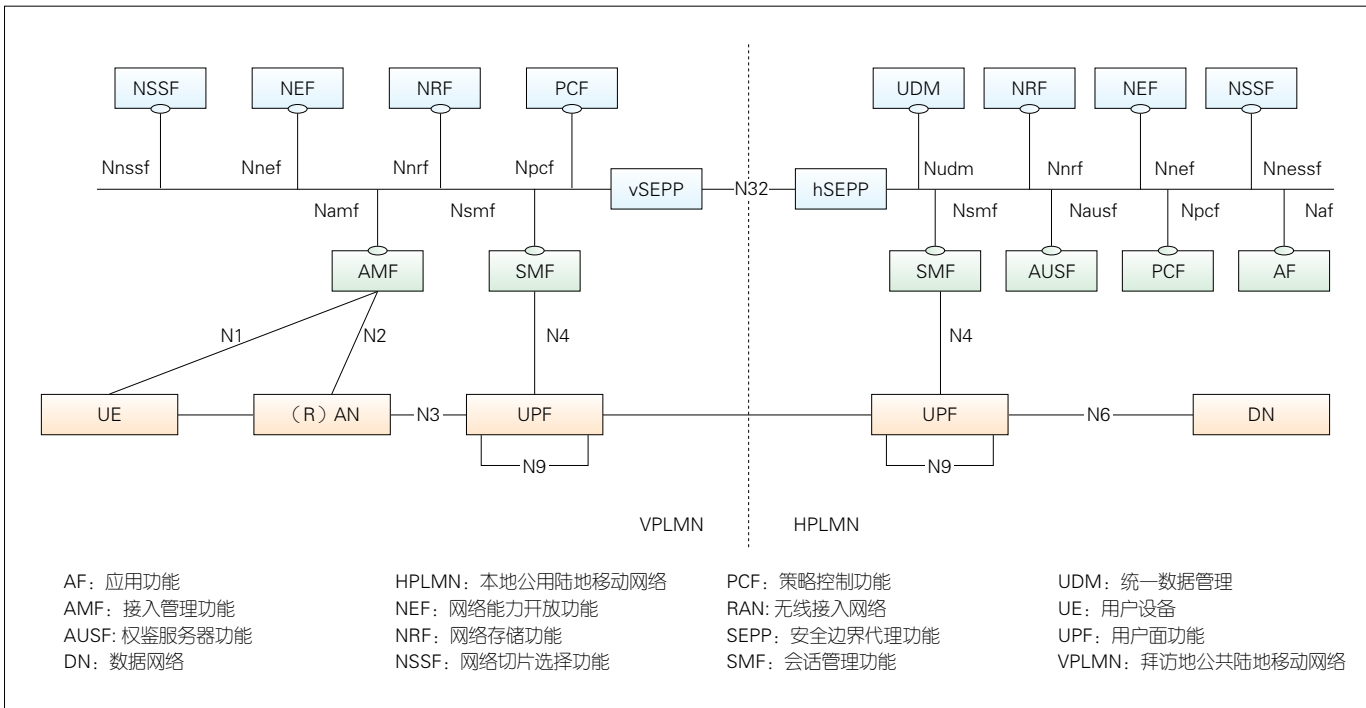
为了保证国际用户能够在中国 5G 网络条件下实现漫游，在 2020 年规模商用 5G SA 的情况下，中国 5G NSA 架构网络和足够的覆盖能力均需要被保留，以满足国际 5G NSA 用户漫入使用 5G 的需求^[6]。当 5G NSA 来访用户漫游至 5G SA/4G EPC 覆盖的区域时，漫游互通可实现“EPC-EPC”模式，这时用户只能接入 4G EPC 网络漫游，无法使用 5G SA 网络服务；当 5G NSA 来访用户漫游至 5G NSA/4G EPC 覆盖区域时，漫游互通可实现“EPC+-EPC+”模式，此时用户可以接入漫游地 NSA 网络，使用 5G NSA 网络服务；当 5G SA 用户漫游至 5G SA 覆盖区域时，漫游可实现“5GC-5GC”互通模式，用户可以接入漫游地 SA 网络，使用 5G SA 网络服务。为了实现 5G SA 架构核心网国际漫游，3GPP 定义

了本地疏通和归属地疏通两种漫游架构，具体如图 4 和图 5 所示。其中，图 4 描述了 5G 本地疏通漫游架构通过控制面互通的方式，图 5 描述了 5G 归属地疏通漫游架构通过控制面互通的方式。

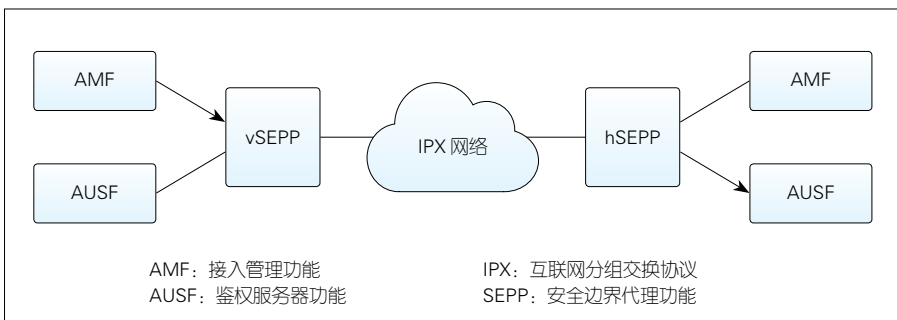
在本地疏通架构中，除归属地用户数据查询和鉴权外，拜访地 PCF 可以根据运营商间漫游协议使用本地配置策略为漫游用户生成业务疏通规则并进行业务的本地疏通，或对归属地 PCF 进行策略查询后生成业务疏通规则并进行业务的本地疏通。在归属地疏通架构中，除归属地用户数据查询、鉴权、策略数据查询和生成外，还涉及跨两地会话连接的建立，以便建立从拜访地到归属地的用户面隧道连接。以上跨运营商核心网的控制面交互均通过 3GPP 定义的安全边界代理功能（SEPP）实现。SEPP 实现消息过滤和拓扑隐藏功能，因此 5G SA 核心网国际漫游互通双方均须部署自己的 SEPP，所有控制面互通的消息均通



▲图 4 5G 本地疏通控制面互通的漫游架构示意图^[6]



▲图 5 5G 归属地疏通控制面互通的漫游架构示意图^[1]



▲图 6 跨运营商 5G 独立组网信令互通示意图^[7]

过 SEPP 进行中继转发。不同运营商间 SEPP 的互通通过 IPX 网络完成互通，如图 6 所示。

4 结束语

2020 年是 5G SA 核心网规模商用的第 1 年，产业界主要负责提供满足 5G R15 阶段的 5G 核心网设备。一方面伴随 5G 核心网的网络云化转型以及 5G 网络切片和边缘计算的引入，移动网络的架构发生了巨大变化；另一方面移动网络需同时服务于 ToC 和 ToB 多样化需求的市场，这使得 5G 核心网的引入和部署策略受到诸多条件的制

约，策略选择也非常多样。文中，我们仅结合移动用户和网络需求进行了 5G SA 核心网初期引入的相关策略分析和探讨。随着 5G R16 标准的进一步完善以及产业的逐步成熟，5G 增强核心网将能满足更多场景，提供更高服务质量要求。未来，5G 核心网网络规划建设策略也将面临更多问题，需要研究者们进一步探讨。

参考文献

- [1] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; system architecture for the 5G system; stage 2 (Release 15): 3GPP TS

23.501, V15.6.0[S]

- [2] 赵远, 肖子玉, 韩研, 等. 5G 融合用户数据架构演进方案[J]. 电信科学, 2019,(6):124-131
- [3] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵, 等. 面向 5G 的核心网演进[J]. 电信科学, 2019,(9):135-143
- [4] 杨旭, 肖子玉, 邵永平, 等. 面向 5G 的核心网演进规划[J]. 电信科学, 2018,(7):162-170
- [5] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵, 等. 5G 边缘计算技术及应用展望[J]. 电信科学, 2019,(6):114-123
- [6] 肖子玉. 多模共存的 5G 网络部署关键问题探讨[J]. 电信工程技术与标准化, 2019,(11):37-41
- [7] 3GPP. Security architecture and procedures for 5G system: 3GPP TS 33.501, V15.6.0[S]

作者简介



肖子玉, 中国移动通信集团设计院有限公司网络所总工程师, 教授级高级工程师, 中国通信协会信息通信专委会委员, 美国北卡罗来纳州立大学访问学者; 主要从事通信工程咨询、设计和研究工作, 在 5G 核心网、NFV、IMS、RCS 等领域积累了丰富的咨询设计和研究经验; 共获部级以上科学技术奖、优秀工程咨询和设计奖 8 项; 发表论文 40 余篇, 获授权专利 2 项。