



运营技术广角

面向 5G 的网络优化和重构

孔令义

(中国联合网络通信集团有限公司河南省分公司, 河南 郑州 450008)

摘要: 2019 年 6 月, 工业和信息化部发布 5G 商用牌照, 加快了运营商 5G 网络部署进程。NSA 组网是 5G 网络部署初期的较好选择, SA 组网是 5G 网络的目标架构, 如何在当前网络基础上向 5G 平滑演进是需要考虑的问题。简要介绍了 4G 网络结构, 优化了回传承载网络以满足 5G 发展初期带宽需求, 采用 NFV 技术, 基于 CUPS 架构对 EPC 进行了重构以更好地支持网络演进。最后介绍了 4G/5G 互操作网络架构, 分析了向 SA 组网演进的部署方案, 对 5G 核心网建设提供参考。

关键词: 5G 网络优化; 网络重构; 承载网络; CUPS; 5GC; NFV

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020034

Network optimization and reconstruction for 5G

KONG Lingyi

Henan Branch of China United Network Communication Co., Ltd., Zhengzhou 450008, China

Abstract: In June 2019, the Ministry of Industry and Information Technology officially issued a 5G commercial license, which accelerated the deployment of telecom operator's network of 5G. NSA networking is a good choice to deploy 5G networks in the early stage, and SA networking is the target architecture of 5G networks. Based on the network existing, how to smooth evolution to 5G is a problem to be considered. The architecture of 4G networks was introduced briefly, the return bearer network was optimized to meet the bandwidth requirement in the early stage of 5G development. Through NFV technology the EPC was reconstructed based on CUPS architecture to support network evolution better. Finally, the inter working architecture of 4G/5G was introduced, the deployment and evolution scheme for SA network was analyzed, which provides reference for the construction of 5G core network.

Key words: 5G network optimization, network reconstruction, bearing network, CUPS, 5GC, NFV

1 引言

5G 网络中, 采用 NSA 架构可以实现业务的快速应用, 可在重点地区进行试验网络部署, 疏导热点地区的数据流量, 满足初期市场需求和业务探索需要。产业链成熟后, 采用 SA 架构

进行规模部署, 满足各场景 2C 市场和 2B 市场的业务需求。

NSA 组网方案基于 E-UTRA (LTE 空中接口) 与 NR (5G 空中接口) 紧耦合架构, 核心网可以连接 4G 核心网 (EPC) 或者 5G 核心网 (NGC)。3GPP 提出了 Option3/3a/3x、Option7/7a/7x、



Option4/4a 等几种不同的网络架构方案, 其中 Option4 和 Option7 系列采用 5G 核心网, 不适用于当前的网络现状, 而 Option3 系列方案的核心网沿用 EPC (仅需软件升级支持 5G 业务接入), 是当前 NSA 组网所选择的架构。在 Option3 系列中, LTE eNB (eNode B) 作为主基站, gNB (gNode B) 作为辅基站, EPC 和基站只存在唯一的控制面连接, 即与主基站连接, 而在用户业务数据的处理上 Option3/3a/3x 各有不同, 主要区别如图 1 所示。

Option3 模式中, 用户面和控制面一样, 均锚定在 eNB, eNB 将数据分流给 gNB, 这对 eNB 的数据处理转发能力以及 eNB 和 gNB 之间的传输带宽需求均较高, 需升级现网 eNB 和提升接入环带宽, 投资较大。Option3a 模式中, eNB、gNB 和 EPC 均存在用户面连接, 下行数据的分流是 EPC 基于 RAB 的静态分流, 无法根据无线资源情况进行动态分流。Option3x 模式中, 增加了 SCG Split bearer, 这使得 gNB 也可将数据分流至 eNB, 业务由 eNB 根据空中接口质量决定承载在 4G 或 5G, 这种模式可充分利用空中接口资源, 不必升级现网 eNB, 无需改变现有 S1 接口传输带宽, 是 5G 建设初期的首选方案。

5G 网络的建设承载网和核心网需先行于基站。以 Option3x 为架构的 5G 网络的回传承载网和核心网可充分利用现有设备资源和能力来支持 5G 基站和业务的接入。接入层原则上采用新建方式, 新建接入环采用 10GE 组网, 热点或高流量区域可采用 2×10GE 捆绑方式建网, 后期根据

业务发展情况同步扩容。回传承载网络和集中化部署的 EPC 伴随着业务量的快速增长存在着带宽扩展能力不足、业务承载不够扁平化等一系列的问题。对此, 根据 5G 业务需求, 针对目前网络存在的问题, 进行了一系列的优化和重构。

2 4G 网络结构

4G EPC 采取大区制的部署方式, 以河南联通为例, 有郑州、洛阳两个大区, 每个大区分别有两个 EPC 局点。具体网络结构如图 2 所示。基站将手机业务由 S1 接口回传至大区中心的 EPC 局点, 通过 SGi 接口实现对互联网的访问。以郑州大区为例, 4G 业务所给设备简单描述如下: 郑州用户流量由 IP-RAN 直接传送至郑州的汇聚 MR 路由器, 其余地市则由 IP-RAN 网络传送至承载 B 网, 由承载 B 网转送至郑州的 MR 路由器, MR 将用户流量分别传送至两个局点的 SR 路由器 (图 2 中仅给出一个 EPC 局点, 两个局点所承载业务量可由 DNS 调整), 由 SR 传送至 EPC 的相关网元。经 EPC 处理后, 通过 SGi 接口实现对互联网的访问。SGi 接口所经过的设备为本局点的防火墙, Gi 路由器然后接入中国联通 169 网络。整个网络均采用双平面负荷分担的工作模式。

基于大区中心建设 EPC 网络具有部署快速、节省投资、运维高效等优点, 但使得业务过于集中, 不足以支撑即将到来的 5G 业务发展。对此, 对回传承载网络进行了优化, 对集中化部署的 EPC 进行重构, 以满足 5G 业务接入需求。

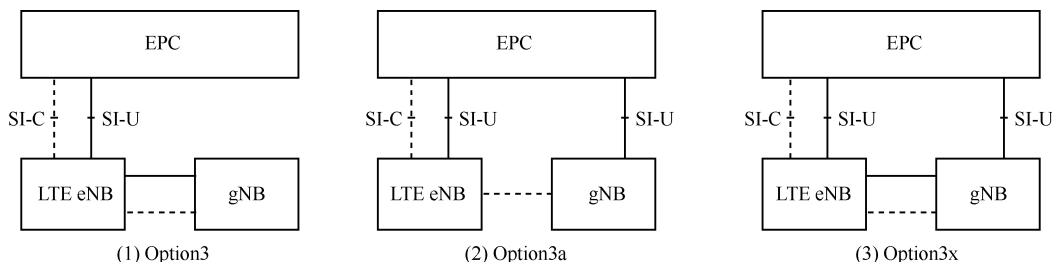


图 1 Option3/3a/3x 网络架构示意图

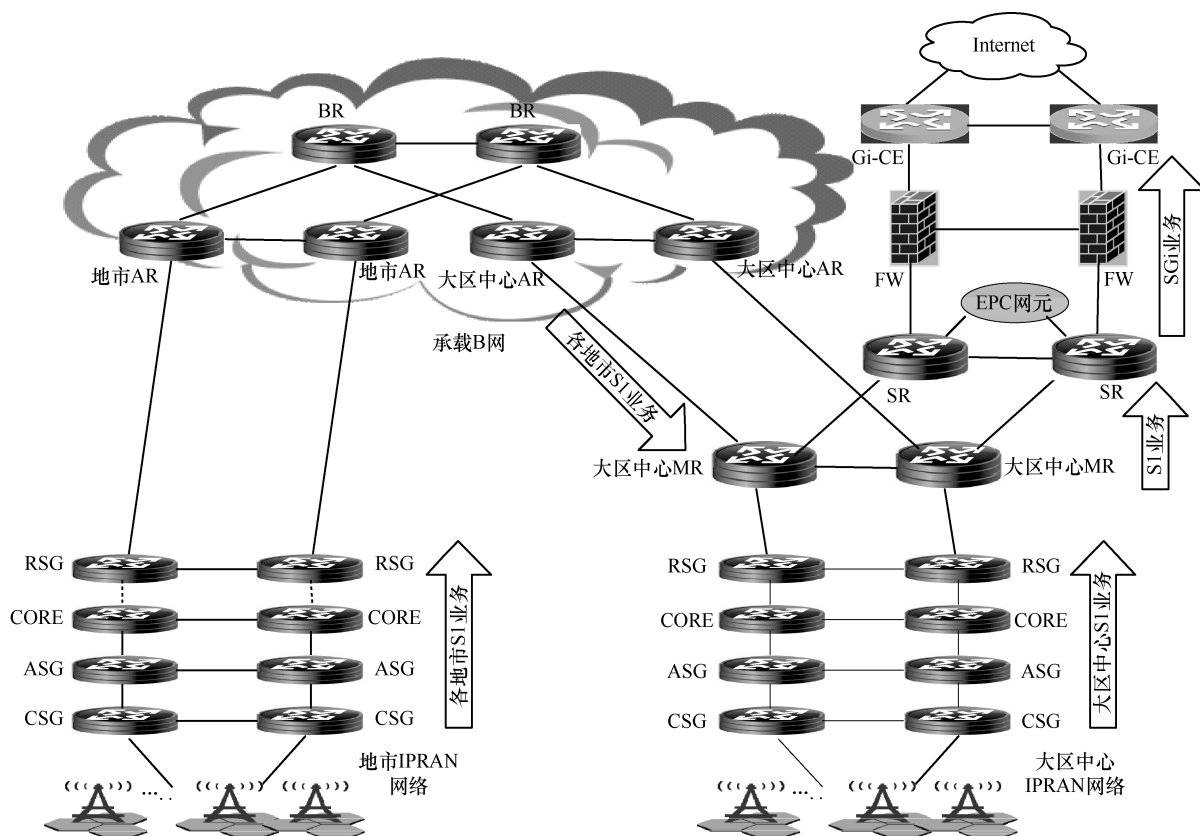


图2 4G网络结构示意图

3 优化回传承载网络

各地市 4G 流量的回传需要承载 B 网转接, 经过 IPRAN 网络、承载 B 网、EPC 本地承载网 3 个自治系统, 涉及 3 个专业, 业务节点多。随着流量的增长, 各节点均需同步扩容, 但扩容成本高、周期长, 无法快速响应业务增长, 因此打造扁平化的回传承载网络势在必行。

对此, 分为两种情况优化改造: 一是对于各地市, 将地市 IPRAN 的 CORE 路由器和 MR 直连, 不再经过承载 B 网转接, 这样回传路径减少了一个自治系统; 二是对于大区中心, 鉴于大区中心 IPRAN 的 RSG 和 MR 已经直连, 故将 IPRAN 中的汇聚 CORE 路由器和 MR 直连, 不再经过 RSG 转发, 减少一跳。改造实施从可靠性、对现网影响小、实施快捷等方面考虑。回传承载网络改造完成后的网络架构如图 3 所示。

以地市的回传承载网改造为例, 改造要点如下。

(1) 为提高回传网络带宽, 将 MR 由华为 NE40E-X16A 替换为集群的 NE5000E, 承载能力提升 2.5 倍, 并具备很好的扩展能力。

(2) 为了将地市 IPRAN 的汇聚 CORE 路由器和 MR 直连, 同时不再经过 IPRAN 的 4G 落地设备 RSG 转发, 这需要 CORE 部署三层 VPN, 角色由 P 修改为 PE 作为跨网对接的 ASBR, 并和 RSG、一级汇聚设备 ASG 均建立 IBGP 邻居关系, 同时取消 ASG 和 RSG 之间的 IBGP 邻居关系。

(3) 各地市 CORE 和 MR 口字型互联, 两个平面通过不同的物理通路互联, 实现业务负荷分担和保护。互联链路部署 BFD 以及 LACP 链路聚合, 加快路由收敛速度, 避免出现单纤故障, 并便于后续链路扩容。互联端口延时 150 ms, 避免出现传输倒换及端口闪断引起路由震荡。

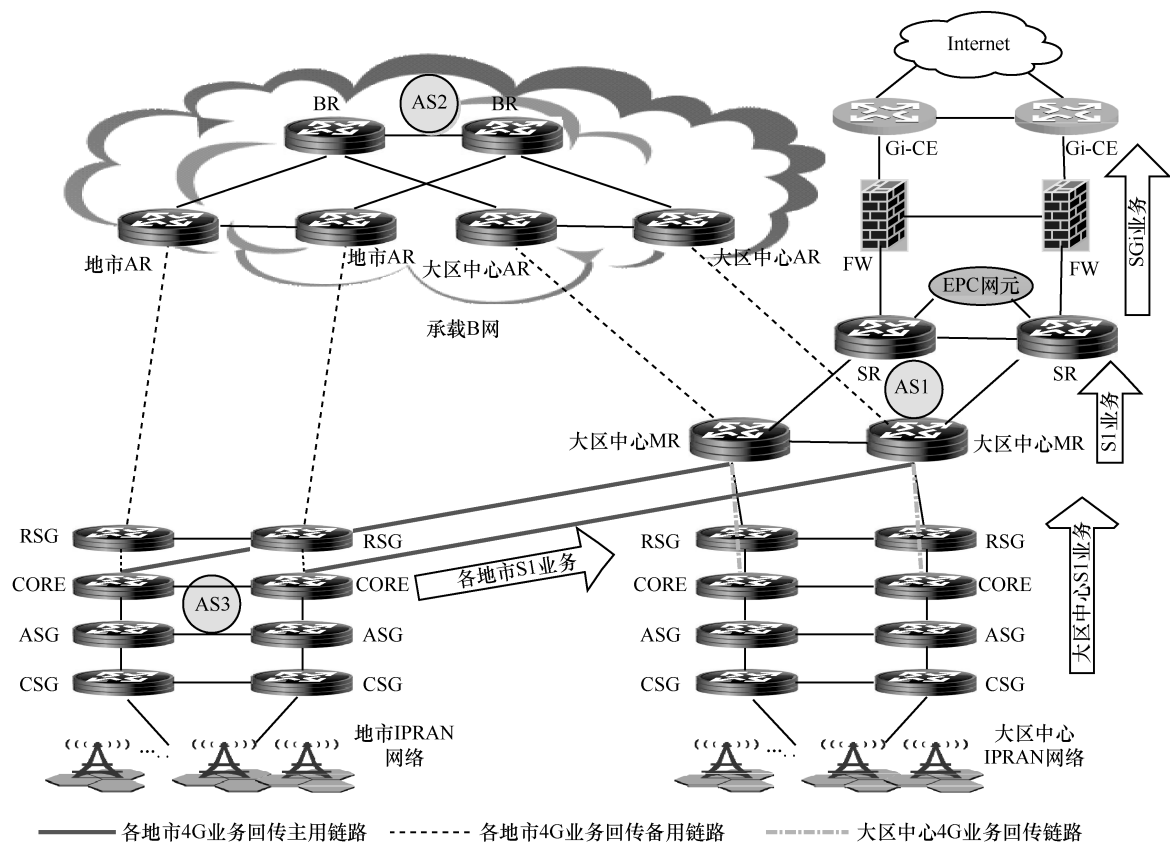


图3 回传承载网络改造后的网络架构示意图

(4) CORE 作为 ASBR 和 MR 建立 option A 方式的 EBGP 邻居关系, 实现业务互通。为尽量减少网络操作及提高割接可靠性, 决定暂不拆除 RSG 和地市 AR 之间的 EBGP 互联。根据 BGP 选路策略, 在其他参数相同的情况下, EBGP 优选 AS-path 最短的路径, 那么由图 3 可以看出, 正常情况下优选 AS1 ↔ AS3 的路径, 在 CORE 和 MR 两个平面的互联均出现中断的时候, 选择 AS1 ↔ AS2 ↔ AS3 作为业务转发路径。这样, RSG 到 AR 的互联作为保护链路使用, 实现业务平滑割接, 后续根据网络状况适时拆除 RSG 和地市 AR 之间的互联链路。

(5) 割接完成后, 进行了严格的倒换测试以及业务质量测试, 主用和备用链路均可实现自动切换, 单链路、单边故障均可实现业务快速倒换, 业务质量测试 VMOS 和 RTT 均有小幅提高。

通过地市 IPRAN 和 EPC 的直连, 业务路径共减少 4 跳, 提高了业务质量, 提升了带宽的可扩展能力, 节约了承载 B 网的投资和运维成本。各地市移动业务回传带宽最低 200 Gbit/s, 最高 800 Gbit/s, 满足 5G 初期业务发展需求。

4 面向 5G 的核心网重构

3GPP R14 中制定了 CUPS 标准。在此标准下, 用户面和控制面分离, SGW 被拆分为 SGW-C、SGW-U, PGW 被拆分为 PGW-C、PGW-U, 控制面重新组合为 GW-C, 用户面重新组合为 GW-U, 其他网元 (MME、PCRF 等) 没有变化。GW-C、GW-U 和其他网元的接口同传统网络中各接口是一样的, GW-C 和 GW-U 之间通过 Sx 接口交互信息, 因此 CUPS 的引入对现网的改动很小。实施 CUPS 后, 用户面可下沉到更贴近用户的位置, 缩

短业务访问路径,降低骨干网络带宽消耗,提升用户业务体验。此网络结构体现了一定的 5G 网络特性,摆脱了“中心化”的束缚,可以更好地支持 5G 业务接入。同时,相对于传统 4G 网络中 MEC 的应用部署存在计费、合法监听等问题,CUPS 网络结构下 MEC 可考虑和 GW-U 合设,由 GW-U 承担计费、监听、鉴权等功能,但 GW-U 和 MEC 之间为私有接口,需要采用同一厂商设备。

NFV (network function virtualization) 是采用虚拟化技术、基于通用硬件实现电信功能节点的软件化,是未来通信网络的基础技术。NFV 可以提升电信云实时处理能力,加快网络部署速度,提升新业务上线效率,有效降低网络运营和建设成本。未来 5G 网络将以通用架构的数据中心(data center, DC)为基础设施实现云化部署。基于此,采用 NFV 技术,基于 CUPS 架构实现核心网的重构,实现网络的平滑演进。

4.1 基于 CUPS 架构的网络部署

选择业务量较大的南阳作为试点实现基于 CUPS 架构的用户面下沉,在南阳两个 DC 机房建设了两个硬件资源池,每个硬件资源池含有 12 台服务器和 7 台交换机,基于 NFV 技术每个资源池实现 2 套 GW-U 的部署。控制面(GW-C)集中化部署在大区中心郑州,共使用 20 台服务器、7 台交

换机作为硬件资源池,基于 NFV 技术实现 2 套 GW-C 的部署。具体网络结构如图 4 所示。两套 GW-C 组 pool 进行业务承载,每个 GW-C 下挂两个 GW-U 进行负荷分担。

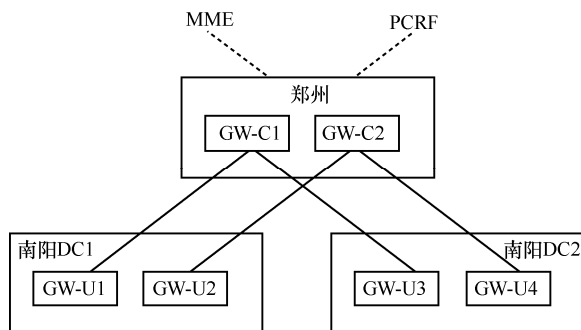


图 4 CUPS 架构示意图

虚拟化的 GW-C 和 GW-U 的业务承载主要分为虚拟资源池内的硬件接入和外部其他网元的交互两部分。虚拟资源池的硬件接入主要包含 3 个平面：一是网管平面，通过带外管理交换机承载传统 OMC 南北接口流量；二是管理/存储平面，通过一对管理/存储交换机承载 MANO 以及存储资源调度等流量；三是业务平面，通过一对业务接入交换机承载业务信令、媒体等流量。具体结构如图 5 所示。

虚拟化的 GW-C 和 GW-U 与外部其他网元的交互均通过一对核心交换机完成业务疏通，具体

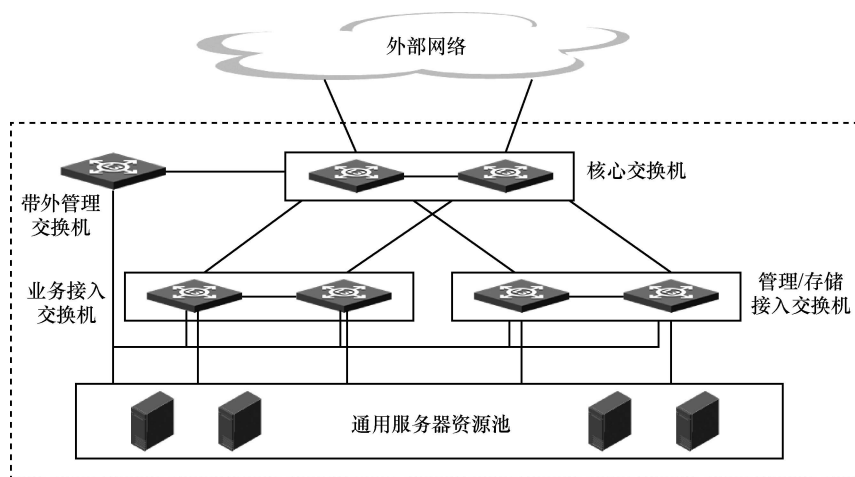


图 5 基于 NFV 的资源池物理组网示意



业务承载如图 6 所示。

- MANO 和网管均以虚拟化方式部署在郑州的控制面资源池中，对 GW-C 和 GW-U 进行统一管理和统一编排，GW-U 的管理和编排流量均通过 DCN 网络疏通，GW-C 的管理和编排则由硬件资源池内的管理/存储交换机完成疏通。
- GW-C 和 GW-U 之间进行信息交互的 Sx 接口由 IP 承载网完成业务疏通。
- S1-U 业务通过南阳 IPRAN 网络直接和 GW-U 硬件资源池中的核心交换机互通完成业务承载，相对于传统网络由 IPRAN 和 IP 承载网疏通 S1-U 业务的结构，减少了一跳。
- 访问公网的 GI 业务由核心交换机经防火墙（图 6 中未画出）隔离后接入中国联通 169 网络的 CR 设备，防火墙作为 ASBR 和 CR 之间部署 EBGp，通过 EBGp 接收缺省路由并通过 OSPF 非强制下发缺省路由引导 GW-U 上行流量。相对于传统网络中 GI 业务通过防火墙隔离通过 GI 路由器接入 CR，减少了一跳。

GW-C 和 MME、PCRF、HSS 等网元的接口和传统网络一样，业务交互也由 IP 承载网疏通。

4.2 基于 CUPS 架构的容灾方案

由于 NFV 技术成熟度有待检验，因此仅迁移了一个 TAC 和部分号段用户，同时为了提高可靠性，设计了详细的容灾方案以保障业务可靠性。方案主要分为两个层面。

- 虚拟化的 GW-C 和 GW-U 分别组 pool 承载业务。当 MME 发现某 GW-C 故障（如 echo 消息长时间无响应）后，要求 UE 重新接入，而后选择另一套 GW-C 承载业务。当 GW-C 检测到其下所有 GW-U 宕机时，释放在线用户，关闭 echo 检测让 MME 和其他 GW 认为 GW-C 宕机，回收在线用户，这样 MME 就不再向其分担新接入的用户。
- 虚拟化的网元和传统网元混合组网。在 DNS 上设置优先级，将虚拟化网元优先级设置高于传统网元，避免业务依然迂回至郑州。当两套 GW-C 均出现故障时，则由传统网元承载业务。

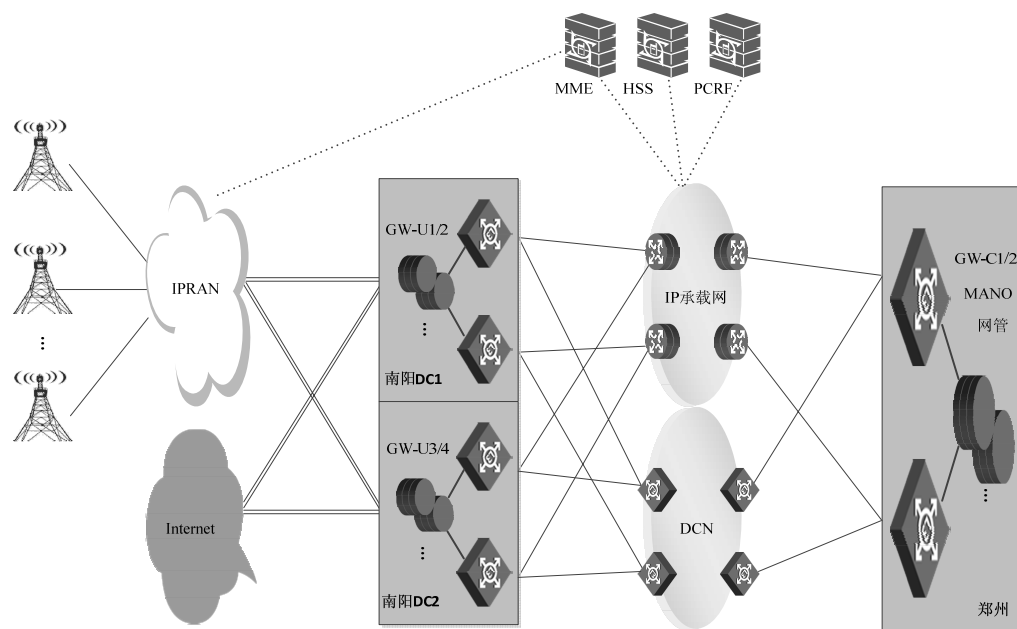


图 6 CUPS 架构下业务承载示意

5 5G 核心网部署和演进方案

在 5G 网络部署初期,通过 MME、HSS、PCRF、DNS、CG 和部分 GW 的升级即可支持 NSA,主要涉及支持双连接、Qos 扩展、NR 接入限制、网关选择、计费扩展等方面,并需增加至 NR 的 S1-U 接口,当然,新建 CUPS 架构下的 GW 已然支持 NSA。总体来看,NSA 核心网仅需 EPC 软件升级即可支持 5G 业务接入,建设速度快、投资少,可快速应用于市场。但 NSA 组网仅支持 eMBB 场景应用,不支持 uRLLC 和 mMTC 场景应用。而未来运营商业务增长将产生在物联网领域,物联网应用则主要集中在 uRLLC 和 mMTC 场景,只有实现 SA 组网,才可以满足 uRLLC 和 mMTC 场景应用需求。因此,如何从 NSA 组网向 SA 组网演进是必须考虑的问题。

3GPP 定义了 Option2 和 Option5 两种 SA 组网架构,Option2 是 5G 基站直接接入 5G 核心网 5GC,Option5 是将 4G 基站升级后接入 5GC,很显然,从性能和投资效率上来看,Option5 不适合当前的网络,因此,SA 组网以 Option2 架构为首选。

基于服务化架构的 5GC 降低了网元间的耦合,实现了无状态的设计,支持网络切片,而实现这些的前提是实现 5GC 的云化部署。5G 网络从核心层到接入层将会形成三级以数据中心(data center, DC)为基础设施的通信云。

- 区域 DC,主要部署集团区域级或省级层面控制网元以及编排管理等,如 AMF、NFVO、VNFM、OSS 等。
- 本地 DC,主要部署地市级集中化的媒体面的网元等,如 UPF、GW-U 等。
- 边缘 DC,主要部署更靠近用户端的业务和网元,如 MEC、UPF、RAN-CU 等。

5.1 EPC 和 5GC 的融合架构

5GC 的建设应支持 4G/5G 融合操作和互操作,需考虑 3 类网元的融合,主要如下。

(1) 用户数据: HSS 和 UDM 融合,保证用户数据一致性。

(2) 策略数据: PCRF 和 PCF 融合,保证策略一致性、连续性。

(3) 业务网关: SMF 和 PGW-C 融合,UPF 和 PGW-U 融合,实现移动锚点不变保证业务连续性。融合网元需兼容 4G 和 5G 接口,融合网元之间交互采用 5G 新接口,融合网元和 EPC 网元交互采用 4G 接口,融合网元和 5GC 网元交互采用 5G 接口。4G/5G 互操作网络架构如图 7 所示。

4G 和 5G 的互操作通过 AMF 和 MME 之间的 N_{26} 接口实现。AMF 和 MME 可选是否融合。AMF 和 MME 如果深度融合可减少 MME/AMF 之间信令交互,优化 4G/5G 互操作,避免 5G 初期频繁切换引起的信令风暴,提升用户体验。同时 AMF 和 MME 可以共享资源,管理界面呈现一个网元,简化运维,提升效率。

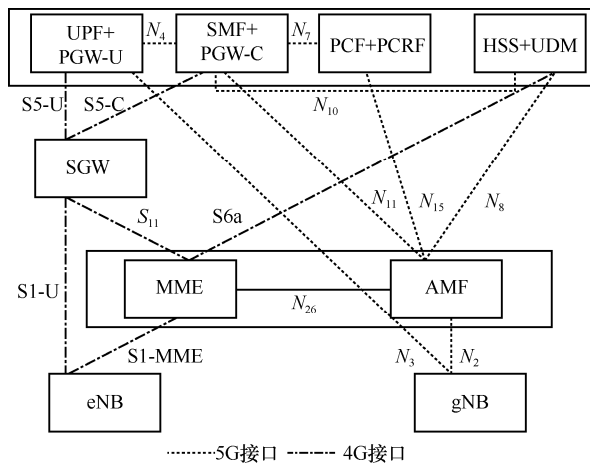


图 7 5G 和 4G 互操作网络架构

5.2 5GC 部署方案

5GC 的部署需兼顾 4G 网络现状。在 Option2 的 SA 组网架构下,用户不需更换 SIM 卡的前提下,5GC 的部署和演进主要有以下 3 个方案,具体如图 8 所示。

方案 1: 部署独立 5GC。新建云化的 5GC,包括 AMF、SMF/GW-C 和 UPF/GW-U。现网 MME

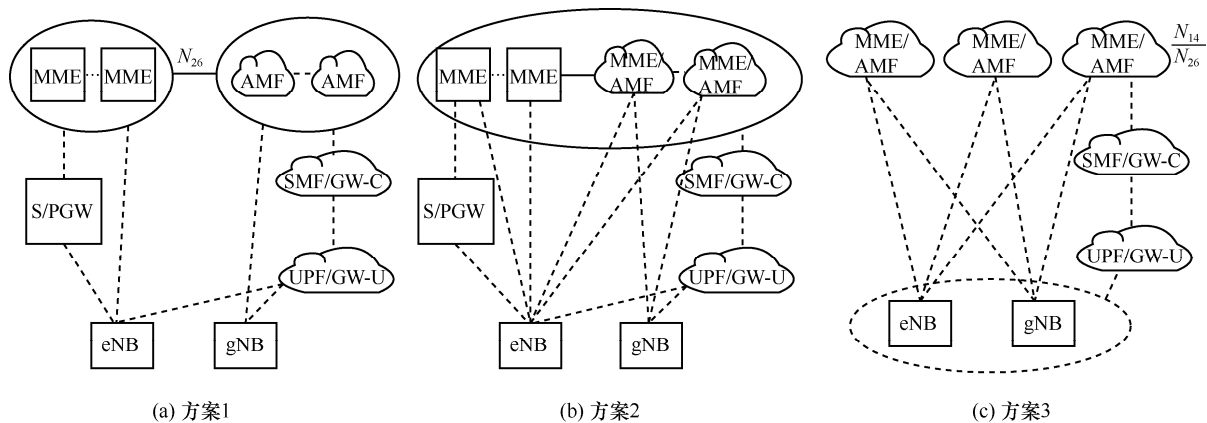


图8 5G核心网部署方案

升级支持 N_{26} 接口和融合网关选择。当 5G UE 接入 eNB 时, MME 为 5G UE 选择融合网关, 5G UE 接入 gNB 时, 5G UE 接入 AMF 和 5G 融合网关。5G UE 在 4G 和 5G 移动时, MME 和 AMF 间通过 N_{26} 接口跨 pool 互操作。4G 用户依然由 EPC 承载。

方案 2: 异构混合 pool。全网云化, 新建云化融合 5GC, 包括 AMF/MME、SMF/GW-C 和 UPF/GW-U。合理规划融合节点的 MME/AMF 标识, MME/AMF 和现网 MME 为 5G UE 选择融合网关, 5G UE 在 pool 内一次跨节点互操作后锚定 MME/AMF 节点。4G 用户由 EPC 承载, 并且可以分担至融合 5GC。

方案 3: 全网云化融合 pool 组网。新建云化融合 5GC, 包括 AMF/MME、SMF/GW-C 和 UPF/GW-U。合理规划融合节点的 MME/AMF 标

识, 4G/5G UE 均由融合 5GC 承载, 在 pool 内服务节点不变, 融合网关采用 pool 方式负荷分担。

3 种方案对比具体见表 1, 总体来看方案 1 和方案 2 适合 5GC 部署初期, 方案 2 跨节点互操作较少, 性能更优。方案 3 适合 5G 网络 and 用户有一定规模时, 统一核心网, 实现“任何终端, 任何接入”。

6 结束语

“4G 改变生活, 5G 改变社会”, 5G 网络大带宽、低时延、海量连接等优异性能呈现了令人振奋的网络能力, 当然这对网络部署也提出了更高的要求。5G 网络的建设既要兼顾投资, 又要适度超前, 在技术的不断成熟中逐步推进。当前 5G 网络以 NSA 组网为主, 通过新建接入环, 优化承载网络结构, 采用 NFV 技术搭建 CUPS 架构的核心

表 1 3 种方案对比

部署方案	现网改造	4G/5G 互操作	资源效率	优点	缺点
方案 1	MME 需支持 N_{26} 和融合网关选择	跨 pool 互操作多, 降低业务体验	利旧现网 EPC, 5GC 容量随 5G 用户增长	5GC 初期只需支持 5G 接入	现网 MME 需升级, 跨 pool 互操作多, 降低用户体验
方案 2	MME 需支持融合网关选择	5G UE 锚定 5GC, 无跨节点互操作	纯 4G 用户也分担到融合 5GC, 降低现网 MME 利用效率	5G 用户锚定融合 5GC, 减少跨节点互操作	纯 4G 也分担到融合 5GC, 降低现网 MME 利用效率, 现网 MME 需升级
方案 3	MME 支持融合网关选择(可选)	4G/5G UE 锚定 5GC, 无跨节点互操作	资源利用均衡, 4G/5G 用户共享融合 MME/AMF	4G/5G 用户锚定融合 5GC, pool 内无互操作, 部署简单, 用户体验好	需要全网云化和升级到 5GC 融合版本, 传统平台设备退网

网, 软件升级 EPC, 实现了 5G 业务的快速接入, 并为云化的网络建设和运维积累经验。2020 年起, 逐步建设 SA 组网的 5G 网络, 以云化部署为目标, 建设多级通信云资源池, 引入 5GC, 承载网向智能化综合业务承载演进, 推动端到端的网络切片成熟, 实现万物互联, 助力垂直行业数字化转型。

参考文献:

- [1] 王志勤, 徐菲. 关于 5G 组网技术路线的分析与建议[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 3-7.
WANG Z Q, XU F. Analysis and suggestion on 5G networking technology route[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 3-7.
- [2] 3GPP. Radio access architecture and interfaces: TR38. 801 V14.0.0[S]. 2018.
- [3] 3GPP. Study on architecture for next generation system: TR23. 799 V14.0.0[S]. 2016.
- [4] 王丽莉, 姚军. 5G 传输网络承载方案分析[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 145-151.
WANG L L, YAO J. Scheme analysis of transmission network for 5G mobile communication system[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 145-151.
- [5] 冯征. 面向应用的 5G 核心网组网关键技术研究[J]. 移动通信, 2019, 43(6): 2-9.
FENG Z. Research on key technology of application oriented 5G core networking[J]. Mobile Communications, 2019, 43(6): 2-9.
- [6] 王楚锋, 丁远. 5G 试验规模组网策略及网络建设方案[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 141-149.
WANG C F, DING Y. 5G scale networking strategy and network construction solution[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 141-149.
- [7] 康宏建. 5G 网络架构演进建议方案[J]. 电信技术, 2019(7): 66-68, 71.
KANG H J. 5G network architecture evolution proposal[J]. Telecommunicationstechnology. 2019(7): 66-68, 71.
- [8] 孔令义. 4G 业务可靠性保障研究[J]. 电信技术, 2018(9): 27-29.
KONG L Y. Research on reliability assurance of 4G service[J]. Telecommunicationstechnology. 2018(9): 27-29.
- [9] 刘雁. 5G 核心网的建设与演进[J]. 邮电设计技术, 2018(11): 23-28.
LIU Y. Constrution and evolution strategy for the 5G core network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2018(11): 23-28.
- [10] 黄蓉, 王友祥, 刘珊. 5G RAN 组网架构及演进分析[J]. 邮电设计技术, 2018(11): 1-6.
HUANG R, WANG Y X, LIU S. Analysis on architecture and evolution of 5G RAN[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2018(11): 1-6.
- [11] 杨旭, 肖子玉, 邵永平. 面向 5G 的核心网演进规划[J]. 电信科学, 2018, 34(7): 162-170.
YANG X, XIAO Z Y, SHAO Y P. Core network evolution planning oriented 5G[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(7): 162-170.

[作者简介]



孔令义(1985—), 男, 中国联合网络通信集团有限公司河南省分公司高级工程师, 主要从事 EPC、承载网维护以及 5GC、MEC 等创新业务测试工作。