



5G MEC 融合架构及部署策略

张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 武洲云

(中国电信股份有限公司技术创新中心, 北京 100031)

摘 要: 移动/多接入边缘计算 (MEC) 技术通过将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移, 使应用、服务和内容可以实现本地化、近距离、分布式部署, 从而在一定程度上解决了 5G 增强移动宽带、低时延高可靠以及大规模机器通信类终端连接等场景的业务需求。同时 MEC 通过充分挖掘移动网络数据和信息, 实现移动网络上下文信息的感知和分析并开放给第三方业务应用, 有效提升了移动网络的智能化水平, 促进网络和业务的深度融合。因此, 首先根据 5G 典型业务场景分析 MEC 的价值与意义。其次基于 ETSI 和 3GPP 的研究进展, 提出了面向 5G 的 MEC 融合架构, 并讨论分析了 MEC 的总体部署策略。更进一步, 针对 MEC 技术在未来 5G 网络应用中可能存在的问题与挑战进行了讨论, 为后续研究发展提供参考。

关键词: 5G; 移动/多接入边缘计算; 融合架构; 部署策略

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018139

5G mobile/multi-access edge computing integrated architecture and deployment strategy

ZHANG Jianmin, XIE Weiliang, YANG Fengyi, WU Zhouyun

Technology Innovation Center of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100031, China

Abstract: Mobile/multi-access edge computing (MEC) technology migrates computing storage capabilities and service capabilities to the edge of the network, enabling applications, services and content to be localized, close-range and distributed. Therefore, to a certain extent, the business requirements of 5G enhanced mobile broadband, low latency and high reliability and large-scale machine communication terminal connection are solved. At the same time, the MEC fully exploits mobile network data and information to implement the awareness and analysis of context information of the mobile network and open it to third-party service applications. This effectively enhances the level of intelligence in mobile networks and promotes the deep integration of networks and services. Therefore, the value and significance of the MEC was firstly analyzed according to the typical 5G service scenario. Secondly, based on the research progress of ETSI and 3GPP, a MEC fusion architecture oriented to 5G was proposed, and the overall deployment strategy of MEC was discussed and analyzed. Furthermore, the possible problems and challenges in the future application of MEC technology in 5G networks were discussed to provide reference for subsequent research and development.

Key words: 5th generation, mobile/multi-access edge computing, integrated architecture, deployment strategy

收稿日期: 2017-11-29; 修回日期: 2018-03-22

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2017ZX03001015)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of China (No.2017ZX03001015)



1 引言

移动互联网和物联网的快速发展以及各种新型业务的不断涌现,促使移动通信在过去的10年间经历了爆炸式增长。预计到2020年,各类新型业务和应用不断涌现,将带来1 000倍的数据流量增长以及超过500亿量级的终端设备连接^[1,2]。为了有效解决其快速发展带来的高网络负荷、高带宽以及低时延等要求,MEC概念得以提出并得到了广泛关注^[3-8]。

欧洲电信标准化协会(ETSI)于2014年9月成立了MEC(mobile/multi-access edge computing,移动/多接入边缘计算)工作组,针对MEC技术的服务场景、技术要求、框架以及参考架构等开展深入研究^[3]。根据ETSI的定义,MEC技术主要是指通过在无线接入侧部署通用服务器,从而为无线接入网提供IT和云计算的能力。即MEC技术使得传统无线接入网具备了业务本地化、近距离部署的条件,无线接入网由此具备了低时延、高带宽的传输能力,有效缓解了未来移动网络对于传输带宽以及时延的要求。除此之外,由于MEC靠近无线网络及用户本身,更易于实现对网络上下文信息(位置、网络负荷、无线资源利用率等)的感知和利用,并通过开放给第三方业务提供商,从而可以有效提升用户的业务体验,促进网络和业务的深度融合。目前,MEC概念已经从立项初期针对3GPP移动网络为目标,扩展至对非3GPP网络(Wi-Fi、有线网络等)的支持,其名称也从移动边缘计算修改为多接入边缘计算。

除此之外,IMT-2020(5G)推进组、3GPP、CCSA等国内外研究及标准推进组织也开展了MEC的研究推进工作。其中,3GPP已经完成的下一代网络架构研究项目(TR23.799)以及正在制定中的5G系统架构标准(TS23.501)均将MEC作为5G网络架构的主要目标予以支持^[9,10]。同时,CCSA也于2017年8月开始了“5G边缘计算核

心网关键技术研究”以及“5G边缘计算平台能力开放技术研究”课题的立项研究。

由于ETSI MEC工作组重点关注MEC平台、基于MEC平台的网络能力开放以及基于MEC平台的业务应用运营部署等方面,并希望MEC的引入不给具体的网络接入制式带来影响。而3GPP 5G网络架构标准研究与制定则主要从5G网络业务需求以及网络架构的演进趋势出发,通过支持用户面分布式下沉部署、灵活路由等功能,实现支持MEC的目标,并未考虑基于MEC的网络能力开放。因此,如何将MEC平台的网络能力开放与具体的网络架构及网络功能相结合,真正实现网络和业务的深度融合及落地应用,成为运营商重点关注的问题。

综上所述,本文将首先根据5G三大典型应用场景,分析MEC对于5G的价值。其次,基于ETSI和3GPP的研究进展,本文将给出5G MEC融合架构,并讨论分析其总体部署策略。更进一步,针对MEC技术在网络应用中可能存在的问题与挑战进行了讨论,为后续研究发展提供参考。

2 MEC 价值分析

根据ETSI定义,MEC通过为无线接入网提供IT和云计算的能力,从而使得MEC具备如下技术特征:

- 业务应用本地化、缓存加速;
- 本地分流、灵活路由;
- 网络信息感知与开放;
- 边缘计算、存储能力;
- 基于IT通用平台。

下面将从5G的三大典型应用场景(eMBB、uRLLC、mMTC)出发,讨论分析MEC对于5G网络的潜在价值与意义。

2.1 增强移动宽带(eMBB)

为了满足未来5G网络1 000倍的流量增长以及100倍的用户体验速率,现有物理层和网络层

技术的后续演进以及全新的技术需要同时考虑,如大规模天线 (massive MIMO)、毫米波 (mmWave)、超密集组网 (ultra dense network, UDN) 等。此类技术的主要目标是通过拓宽频谱带宽以及提高频谱利用率等方式提升无线接入网系统容量。然而,未来 5G 网络数据流量密度和用户体验速率的急剧增长,除了对无线接入网带来极大挑战,核心网同样也经受着更大数据流量的冲击。传统 LTE 网络中,数据面功能主要集中在 LTE 网络与互联网边界的 PGW (PDN gateway) 上,并且要求所有数据流必须经过 PGW。即使是同一小区用户间的数据流也必须经过 PGW,从而给网络内部新内容应用服务的部署带来困难。同时数据面功能的过度集中也对 PGW 的性能提出了更高的要求,且易导致 PGW 成为网络吞吐量的瓶颈。

因此,MEC 技术通过业务本地化、缓存加速以及本地分流、灵活路由等技术可以有效降低网络回传带宽需求,缓解核心网的数据传输压力,从而进一步避免了核心网传输资源的进一步投资。换句话说,业务应用本地化、缓存加速和本地分流、灵活路由是实现未来 5G 网络业务应用近距离部署/访问、用户面灵活高效分布式按需部署的有效手段,可为用户提供低时延高带宽的传输能力,打造虚拟的 RAN (radio access network, 无线接入网)。值得注意的是,5G 控制面的主要功能依然采用集中控制的方式。

以企业/学校为例,通过业务应用本地化以及本地分流技术可以实现企业/学校内部高效办公、本地资源访问、内部通信等,从而为用户提供免费/低资费、高体验的本地连接以及本地业务访问能力。也就是说,通过 MEC 技术可以为企业/校园等热点高容量场景提供一个虚拟的本地 RAN,实现了 MEC 本地业务本地解决的主要思想。

2.2 低时延高可靠 (uRLLC)

低时延高可靠场景主要是指对时延极其敏感

并且对可靠性要求严格的场景,例如远程医疗、车联网、工业控制等。其中,低时延高可靠场景中对空口时延的要求甚至为 1 ms 量级。对于 5G 网络的低时延要求,需要从物理层技术 (广义频分复用技术等) 以及网络层技术 (业务应用本地化、缓存等) 两个角度出发,进行网络架构的设计与系统开发。

基于 MEC 提供的边缘云计算服务,可以将传统的部署在 Internet 或者远端云计算中心的业务应用,迁移至无线网络边缘部署。此时,特定业务或者将非常受欢迎的内容可以部署或者缓存在靠近无线接入网以及终端用户的位置,从而可以有效降低网络端到端时延,提升用户的 QoE (quality of service, 服务质量)。

因此,基于 MEC 的业务应用本地化、缓存加速等功能可以有效降低或者消除回传带来的时延影响,一定程度上满足 5G 网络对于网络时延的要求。

2.3 大规模 MTC 终端连接 (mMTC)

为了解决移动终端 (尤其是低成本 MTC 终端) 有限的计算、存储能力以及功耗问题,需要将高复杂度、高能耗计算任务迁移至云计算数据中心的服务器端完成,从而降低低成本终端的能耗,延长其待机时间。然而传统的通过将高耗能任务卸载到远程云端的方法,在降低终端能耗、延长待机时间的同时,却带来了传输时延的增加。

此时,基于 MEC 的边缘计算与存储能力,通过将高能耗计算任务卸载/迁移至 MEC 服务器,可有效解决计算任务迁移到远端云计算中心带来的时延问题。同时,MEC 服务器可以作为 MTC 终端的汇聚节点,完成信令以及数据的本地汇聚、存储与处理等任务,降低 MTC 终端存储资源的需求以及网络负荷。

2.4 QoE 优化

显而易见,业务应用本地化使得业务应用更加靠近无线接入网以及终端用户本身,此时实时的无线网络上下文信息 (小区 ID、网络负载、无



线资源利用率等)可以被业务应用有效感知并加以充分利用,从而为终端用户提供更加差异化的服务和业务体验,提升用户的 QoE (quality of experience, 体验质量)。

更进一步,网络运营商也可以将部分/全部无线网络的能力向第三方内容提供商/软件开发商等开放,实现网络与业务的深度融合,从而加速创新型业务的开发和部署。

综上所述,MEC 通过将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移,使应用、服务和内容可以实现本地化、近距离、分布式部署,从而在一定程度上解决了 5G 网络 eMBB、uRLLC、mMTC 等技术场景的业务需求。同时 MEC 通过充分挖掘移动网络数据和信息,实现移动网络上下文信息的感知和分析并开放给第三方业务应用,有效提升了移动网络的智能化水平,促进网络和业务的深度融合。

3 5G MEC 融合架构及部署策略

3.1 5G MEC 融合架构

如前所述,目前 3GPP 仅通过支持用户面分布式下沉部署、灵活路由等功能,实现支持 MEC 的目标。然而,除了用户面分布式下沉部署、灵

活路由外,为了能够更好地支持 5G 业务应用的本地化部署、缓存加速、网络边缘信息的感知与开放以及边缘计算/存储能力,缓解 5G 移动增强宽带业务以及超低时延高可靠场景的时延要求、大规模 MTC 终端连接信令/数据汇聚处理要求以及通过网络边缘信息感知并开放给第三方业务服务商实现网络与业务深度融合的需求,本文给出了 5G MEC 融合架构,如图 1 所示。

其中,5G MEC 平台根据其平台应用相关信息(应用标识、IP 地址+port(端口)等、数据流规律规则等)通过 5G 控制面应用功能(AF)直接或者间接地传递给策略控制功能单元(PCF),从而会影响会话管理功能单元(SMF)进行用户面功能单元(UPF)的选择/重选以及数据分组(PDU)会话的建立,如图 2 所示。具体包括根据用户/应用所在位置、本地接入网络标识(LADN)等信息选择边缘的 UPF 以及在一个 PDU 会话的场景下选择合适的边缘 UPF 并根据预先配置的分流策略进行数据分流(包括上行流量分类 UL-CL 以及 IPv6 多归属分流方案等),从而满足 UPF 分布式下沉部署、灵活路由的需求,将业务数据流根据需求转发至本地网络或者 MEC 主机。同时,MEC 平台也可以作

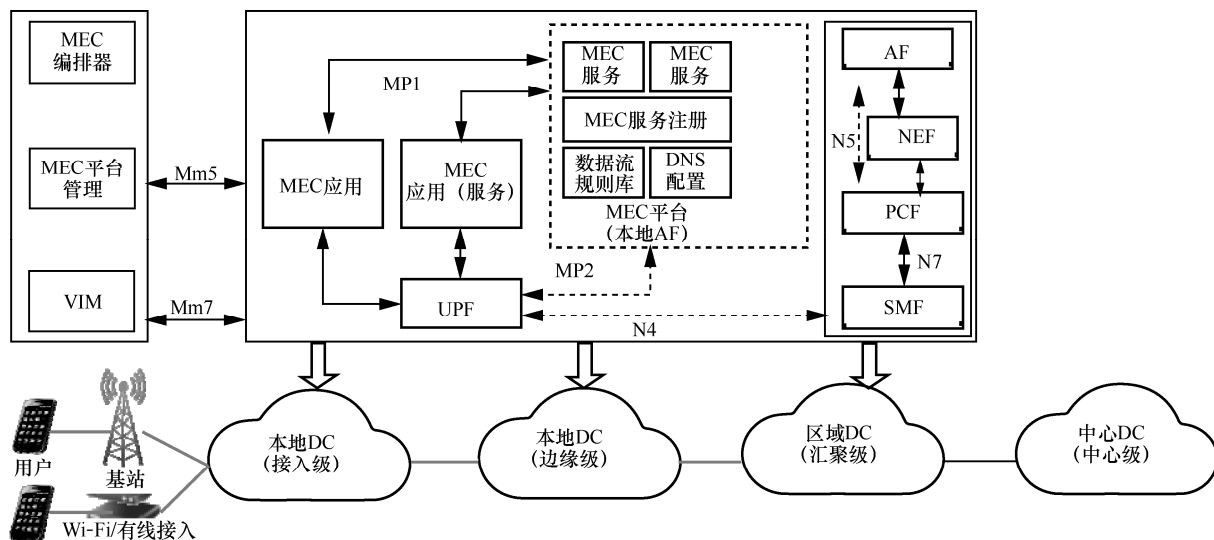


图 1 5G MEC 融合架构

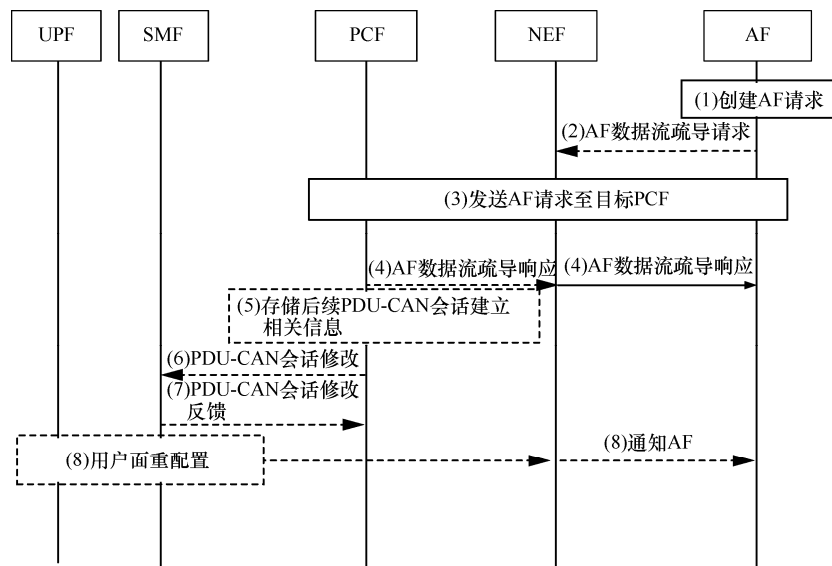


图2 应用功能（AF）影响数据路由流程

为本地 AF，在一定规则约束下将本地数据流过滤规则直接下发至 UPF，进行 UPF 数据流转发以及数据流过滤规则的配置。

除此之外，MEC 平台可以通过 Mp1 接口实现 MEC 平台服务对运营商/第三方 MEC 应用的开放，加强网络与业务的深度融合。在 MEC 资源管理编排方面则主要由 MEC 编排器、MEC 平台管理以及 VIM 管理等负责，满足 MEC 平台以及 MEC 应用资源编排、生命周期等管理。

可以看出，上述 5G MEC 融合架构可以同时兼容 ETSI MEC 以及 3GPP 5G 网络架构，其中 MEC 的数据流灵活路由等功能需求主要由 3GPP 5G 网络灵活地支持 UPF 选择/重选满足，MEC 的提供业务应用本地化、本地计算/存储能力以及网络边缘信息的感知与开放则主要由 MEC 平台、平台管理单元以及 MEC 开放接口等实现。

需要注意的是，MEC 本地数据流的计费、内容合法监控等功能主要通过 5G UPF 负责支持，可以有效解决 4G MEC 因为透明部署需求而面临的计费以及合法监控等问题^[8]。

3.2 5G MEC 总体部署策略

为了更好地阐述 5G MEC 部署策略，首先需

要给出 5G 网络的总体部署策略，其次从 MEC 时延节省的角度以及未来 5G 网络对于业务时延的要求来详细分析 5G MEC 总体部署策略，为未来 5G MEC 的落地部署提供参考。

3.2.1 5G 网络总体部署策略

未来 5G 网络的基础设施平台将主要由采用通用架构的数据中心（data center，DC）组成，主要包括中心级、汇聚级、边缘级和接入级，如图 3 所示，其各自的功能划分大致如下。

（1）中心级

主要包含 IT 系统和业务云，其中 IT 系统以控制、管理、调度职能为核心，例如网络功能管理编排、广域数据中心互联和 BOSS 等，实现网络总体的监控和维护。除此之外，运营商自有的云业务、增值服务、CDN、集团类政企业务等均部署在中心级 DC 的业务云平台。

（2）汇聚级

主要包括 5G 网络的控制面功能，例如接入管理、移动性管理、会话管理、策略控制等，主要部署在省级 DC。同时原有 4G 网络的虚拟化核心网、固网的 IPTV 业务平台以及能力开放平台等可以共 DC 部署。除此之外，考虑到 CDN 下沉以及

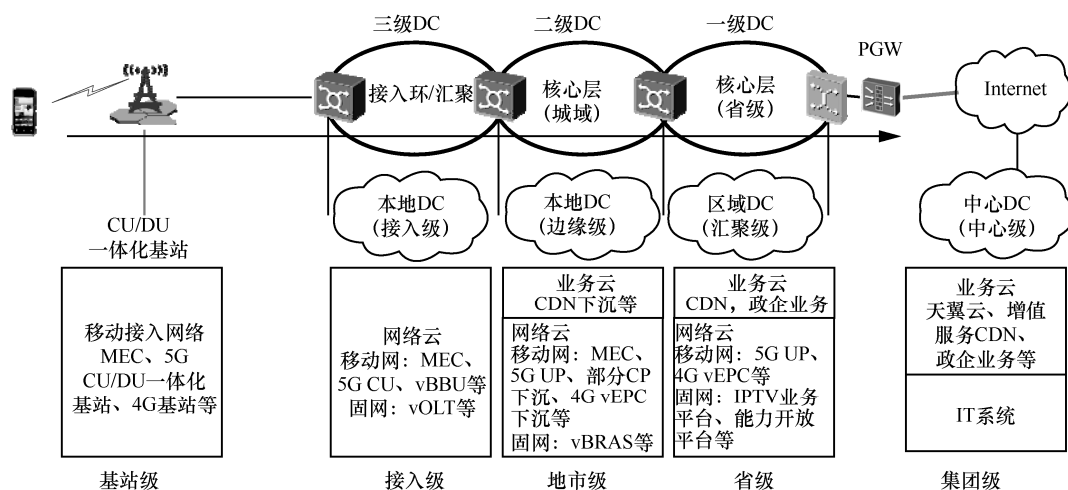


图3 5G网络组网及MEC部署策略

省级公司特有政企业务的需求，省级业务云也可以同时部署在该数据中心。

(3) 边缘级

部署在地市级，主要负责数据面网关功能（包括5G用户面功能以及4G vEPC的下沉PGW用户面功能PGW-D）。除此之外，MEC、5G部分控制面功能以及固网 vBRAS 也可以部署在本地DC。更进一步，为了提升宽带用户的业务体验，固网部分CDN资源也可以部署在本地DC的业务云里。

(4) 接入级

对于本地接入级DC，则重点面向接入网络，主要包括5G接入CU、4G虚拟化BBU（池）、MEC以及固网vOLT等功能。其中5G接入CU也可以与其分布式单元（DU）合设，直接以一体化基站的形式出现，针对超低时延的业务需求将MEC功能部署在CU甚至CU/DU一体化基站上。

可以看出，基于网络功能软件化、模块化的思路以及NFV的云计算平台，使得网络功能可以根据运营商的网络规划、业务需求、流量优化、业务体验以及传输成本等综合考虑，实现网络功能的按需灵活部署。其中业务云侧重在中心DC，便于实现业务应用的全网覆盖，网络云则侧重在边缘DC。

因此，为了满足5G增强移动宽带、超低时延

高可靠等业务场景对极低时延的需求，需要在网络边缘通过MEC实现业务应用的本地化部署以及数据面分布式下沉灵活路由。除此之外，基于MEC的网络的信息感知与开放以及基于MEC的固移融合，可以有效实现网络与业务的深度融合以及移动网络、固定网络等多个网络的资源高效使用与管理。考虑到影响MEC部署位置最主要的是业务要求时延，下面针对5G MEC典型业务场景的时延要求给出MEC总体部署策略。

3.2.2 5G MEC部署总体策略

考虑到5G网络架构还在标准化制定过程中，还未真正部署，因此下面以4G网络拓扑作为参考进行分析。图4给出了4G网络的拓扑图与典型传输时延（单向），其中业务应用一般部署在4G网关PGW后面的中心DC。此时，业务访问时延主要来自回传链路（基站至PGW）引入的传输时延以及因业务应用部署位置引入的PGW至业务部署位置的传输时延。其中，基站至PGW的传输时延为6~16 ms，PGW至业务部署位置的时延则主要由业务部署位置决定，变化范围较大（约30 ms）。此时，由于MEC实现业务应用本地化带来的时延减少部分不仅包括MEC至PGW的传输时延，最主要的部分是PGW到原有业务应用部署位置的传输时延。

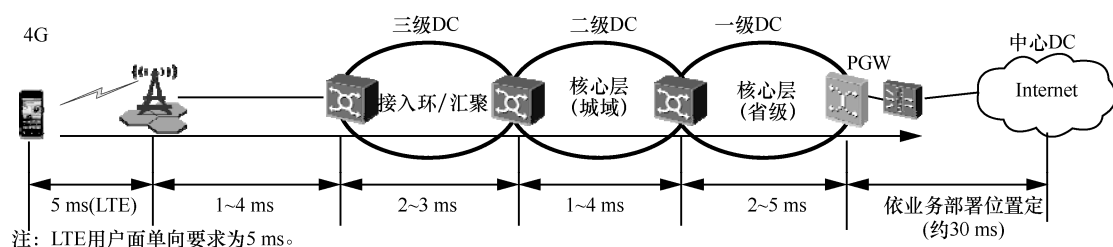


图4 4G网络拓扑及典型传输时延（单向）

根据3GPP对5G接入场景及需求的研究^[11], 5G eMBB场景下空口的单向时延要求为4 ms, 相比于LTE网络空口单向要求5 ms而言, 性能要求提升不是很严苛。对于uRLLC场景, 则要求无线空口单向时延要求为0.5 ms。除此之外, 5G网络针对eMBB业务和uRLLC业务分别提出了10 ms及1 ms的端到端极低时延要求。

此时, 根据网络传输链路的典型时延值估算, 对于eMBB场景, MEC的部署位置不应高于地市级。考虑到5G网络用户面功能UPF极有可能下沉至地市级(控制面依然在省级), 此时MEC可以和5G下沉的UPF合设, 满足5G增强移动宽带场景对于业务10 ms级的时延要求。然而对于超低时延高可靠场景1 ms的极低时延要求, 由于空口传输已经消耗0.5 ms, 此时已经没有给回传留下任何时间。可以理解为, 针对1 ms的极端低时延要求, 直接将MEC功能部署在5G接入CU或者CU/DU一体化的基站上, 将传统的多跳的网络转化为一跳网络, 完全消除传输引入的时延。同时, 考虑到业务应用的处理时延, 1 ms的极端时延要求对应的应该是终端用户和MEC业务应

用间的单向业务, 见表1。

上述仅仅是从时延的角度进行初步分析, 当MEC应用在企业园区、校园等场景时, 考虑到其业务应用服务的覆盖范围以及业务应用数据本地化的需求(出于数据安全性考虑), 此时MEC则可根据需求部署在该覆盖范围基站的汇聚点, 以汇聚网关的形式出现。

因此, 5G MEC总的部署策略是应根据业务应用的时延、服务覆盖范围等要求, 同时结合网络设施的DC化改造趋势, 将所需的MEC业务应用以及服务部署在相应层级的数据中心。

4 问题及挑战

综上所述, 5G MEC融合架构可有效地将ETSI MEC平台和3GPP 5G网络架构结合, 通过将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移, 使应用、服务和内容可以实现本地化、近距离、分布式部署, 从而一定程度解决了5G网络eMBB、uRLLC、mMTC等技术场景的业务需求。然而, 为了解决MEC在未来网络的实际应用, 除了上述架构和部署策略外, 还有很多问题与挑战

表1 5G网络典型场景的时延要求

类型	空口单向时延/ms	说明	总体建议
4G	5		基于业务需求(时延等), 实现MEC在不同级别DC的部署
5G eMBB	4	10 ms级的业务端到端时延, 需要降低或者消除传输时延	MEC部署在二级DC(地市), UP部署于二级DC(地市), UP/MEC合设CP部署于一级DC(省级)
5G URLLC	0.5	1 ms的极低时延要求, 业务需直接部署接入侧(CU、CU/DU一体化基站), 消除传输时延	MEC部署在一体化基站上(将多跳转化为一跳)



亟待研究解决。

(1) 基于 MEC 的本地分流

本地分流是实现 5G 网络业务应用本地化、近距离部署等目标的先决条件,也是 MEC 最基本的功能特性之一。如何根据 MEC 典型业务场景需求,制定高效的数据流识别方法、本地业务分流规则等成为基于 MEC 本地分流首先要解决的技术问题。其次,在 MEC 本地分流场景下,如何实现本地数据流/内容的计费、合法监控以及差异化策略控制是基于 MEC 的本地分流方案能够落地部署必须要解决的问题。

(2) 基于 MEC 的缓存与加速

不同于基于 MEC 的业务应用本地化直接将用户所需内容部署在本地,基于 MEC 的缓存和加速则是根据业务需求以及用户习惯等提前将用户所需内容缓存在本地供用户访问,从而完成有效提升移动互联网用户体验、节省运营商的网络资源、缓解回传压力等目标。此时,有如下几个问题需要解决,包括缓存模式、缓存效率、缓存通道选择以及缓存内容再生等。

(3) 基于 MEC 的网络能力开放

MEC 在网络边缘的部署,为无线网络信息的实时感知获取提供了便利条件,如何通过开放接口将其开放给第三方业务应用,成为优化业务应用、提升用户体验、实现网络和业务深度融合的重要手段之一。因此需要根据业务需求,感知获取网络上下文信息,并通过分析处理形成 MEC 平台具备的网络能力,同时通过开放接口的研究及标准化,加速创新型业务应用的开发及上线,打造良好的 MEC 产业生态链。

(4) 基于 MEC 的固移融合

考虑到未来 5G 将会是一个 4G、5G、Wi-Fi 以及固定接入等多个网络融合的架构,如何针对不同运营商在移动网络或者固定宽带网络的优势,通过 MEC 灵活路由的特性采用移动回传链路承载固定宽带接入业务,或者采用固定宽带链路

分担 5G 高吞吐量要求对于移动网络回传带宽要求的压力成为一个重点关注的内容。除此之外,为了能够充分利用各个网络中的业务/内容资源,MEC 可以根据用户的业务/内容访问请求,根据其所部署的位置、业务带宽、速率等需求选择合适的回传链路,从而实现基于 MEC 的多网络协同管理,实现接入网络与回传网络的解耦,提高用户的业务体验以及网络资源利用率。更进一步,基于多接入边缘计算平台的业务应用部署,可以同时服务不同网络下的用户,并且可保证同一用户在不同网络制式下的一致性体验。

(5) MEC 场景下的移动性管理

MEC 场景下的移动性主要包括终端移动导致终端的数据到应用的路径变化、负载均衡或性能不满足等导致应用迁移以及终端在 MEC 覆盖区域非 MEC 覆盖区间移动时,MEC 系统与其他系统的交互。如何针对上述移动性场景,保证用户会话以及业务的连续性,是保障用户体验的关键。

(6) 基于 MEC 的计算任务卸载

为了实现 MEC 的计算任务卸载,需要考虑将计算所需数据上传至 MEC 以及 MEC 计算结果的反馈。此时上传数据量的大小、传输的时延、MEC 计算时间、计算结果反馈的数据量大小、反馈数据的传输时延、MTC 终端的计算时间、MTC 终端计算所需能耗等因素均对是否进行计算任务卸载以及哪些计算任务进行卸载等问题产生极大影响。因此,针对整个计算任务的完成所需时间以及终端能耗这两个潜在目标,需要进一步深入研究其计算任务卸载方案。

5 结束语

本文在分析 MEC 技术对于 5G 网络的价值与意义的基础上,结合 ETSI 和 3GPP 的研究进展,给出了 5G MEC 融合架构、总体部署以及后续应用中可能存在的问题与挑战。其中,5G MEC 融合架构将有效地与 3GPP 5G 网络架构结合为 5G 网络构

建边缘网络及业务应用能力,促进低时延、高带宽、高计算复杂度等业务应用的发展。

参考文献:

- [1] AHMED E, GANI A, SOOKHAK M, et al. Application optimization in mobile cloud computing: motivation, taxonomies, and open challenges[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015(52): 52-68.
- [2] Ericsson. More than 50 billion connected devices[R]. 2011.
- [3] PATEL M. Mobile-edge computing introductory technical white paper[R]. 2014.
- [4] BECKM, WERNERM, FIELDS, et al. Mobile edge computing: a taxonomy[C]//The Sixth International Conference on Advances in Future Internet, Nov 16-20, 2014, Lisbon, Portugal. [S.l.:s.n.], 2014.
- [5] NUNNA S, KOUSARIDAS A, IBRAHIM M, et al. Enabling real-time context-aware collaboration through 5G and mobile edge computing[C]//2015 12th International Conference on Information Technology-New Generations (ITNG), Oct 29-30, 2015, Chiang Mai, Thailand. [S.l.:s.n.], 2015: 601-605.
- [6] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案研究[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [7] ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and field trial results for 5G low latency scenario[J]. China Communications, 2016(13): 174-182.
- [8] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 基于 MEC 的 LTE 本地分流技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 154-163.
ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Feasibility analysis of traffic offloading in LTE network using MEC [J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 154-163.
- [9] 3GPP. Study on architecture for next generation system: TR23.799 V1.2.1[S]. 2016.
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G system: TS23.501 V0.4.0[S]. 2017.
- [11] 3GPP. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies: TR38.913 V0.3.0[S]. 2016.

[作者简介]



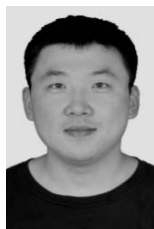
张建敏(1983-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司技术创新中心高级工程师, 主要研究方向为移动通信技术。



谢伟良(1976-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司技术创新中心教授级高级工程师, 主要研究方向为移动通信标准及测试。



杨峰义(1965-), 男, 中国电信股份有限公司技术创新中心副主任、教授级高级工程师, “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项总体专家组专家, 国家高技术研究发展计划(“863”计划)5G 专家组专家, 中国通信标准化协会无线技术委员会副主席, 中国通信学会无线及移动通信委员会委员, 长期工作在移动通信领域, 数次获得国家级和省部级科技进步奖, 发表学术论文数十篇、学术专著 6 部、译著 1 部。



武洲云(1987-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司技术创新中心高级工程师, 主要研究方向为移动通信技术。