



移动边缘计算技术及其本地分流方案

张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 武洲云, 谢亮

(中国电信股份有限公司技术创新中心, 北京 100031)

摘要:移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)技术通过为无线接入网提供 IT 和云计算能力,使得业务本地化、近距离部署成为可能,从而促使无线网络具备低时延、高带宽的传输能力,并且回传带宽需求的降低极大程度减少了运营成本。同时,MEC 通过感知无线网络上下文信息(位置、网络负荷、无线资源利用率等)并向业务应用开放,可有效提升用户的业务体验,并且为创新型业务的研发部署提供平台。首先介绍 MEC 技术,细化并给出 MEC 平台框图。此外,针对基于 MEC 平台的本地分流功能,给出了详细的技术方案,并与 3GPP 本地分流方案 LIPA/SIPTO 进行对比分析。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。

关键词:移动边缘计算;MEC 平台;本地分流;LIPA/SIPTO

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016165

Mobile edge computing and application in traffic offloading

ZHANG Jianmin, XIE Weiliang, YANG Fengyi, WU Zhouyun, XIE Liang

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

Abstract: Mobile edge computing (MEC) makes it possible to deploy and provide service locally, which is close to the users, by enabling the IT and cloud computation capacity at the radio access network (RAN). Thus, MEC can improve the quality of experience (QoE) by reducing the latency, and decrease the network operation cost through reducing backhaul capacity requirement. Meanwhile, based on the network context information (location, network traffic load, radio information, etc) exposure to applications and services, MEC can further improve the QoE of user and provide the platform to third-party partners for application and service innovation. Besides the introduction of MEC, the detailed MEC platform was presented. Furthermore, the traffic offloading solution based on MEC was proposed and compared with the solution of local IP access and selected IP traffic offload (LIPA/SIPTO). In addition, the problems and challenges of the MEC were also discussed in detail.

Key words: MEC, MEC platform, traffic offloading, LIPA/SIPTO

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,智能终端(智能手机、平板电脑等)已逐渐取代个人电脑成为人们日常生活、工作、学习、社交、娱乐的主要

收稿日期:2016-03-25;修回日期:2016-06-07

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No. 2014AA01A707)

Foundation Item: The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2014AA01A707)

工具^[1],同时海量的物联网终端设备(智能电表、无线监控等)则广泛应用在工业、农业、医疗、教育、交通、金融、能源、智能家居、环境监测等行业领域^[2]。然而,通过在云计算数据中心部署业务应用(在线游戏、在线教育、在线影院等),智能终端直接访问的移动云计算^[3]方式在给人们生活带来便利、改变生活方式的同时,极大增加了网络负荷,对网络带宽提出了更高的需求^[4]。除此之外,为了解决移动终端(尤其是低成本物联网终端)有限的计算和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,延长其待机时长^[5]。然而计算任务迁移至云端的方式不仅带来了大量的数据传输,增加了网络负荷,而且引入大量的数据传输时延,给时延敏感的业务应用(例如工业控制类应用)带来一定影响^[6]。因此,为了解决移动互联网和物联网快速发展带来的高网络负荷、高带宽、低时延等要求,移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)概念得以提出,并得到了学术界和产业界的广泛关注,其中,欧洲电信标准化协会(European Telecommunication Standard Institute, ETSI)已于 2014 年 9 月成立了 MEC 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^[7-9]。

MEC 技术通过为无线接入网提供 IT 和云计算的能力,使业务本地化、近距离部署成为可能,并且更易于实现网络上下文信息的感知以及无线网络能力的开放^[9],从而在一定程度上缓解未来网络带来的高网络负荷、高带宽需求以及低时延要求等挑战。因此,针对具有低时延、高带宽传输、位置感知、网络状态上下文信息感知等需求的移动互联网和物联网业务场景,MEC 平台部署以及 MEC 平台

需要具备哪些功能(如数据分流、无线网络状态信息管理、终端用户位置定位等)成为本文首先关注的问题。其次,作为业务本地化部署的前提条件,MEC 平台需要提供数据本地分流的能力,因此,如何实现 MEC 平台的本地分流能力成为本文重点研究关注的问题。

2 MEC 技术

2.1 MEC 介绍

根据 ETSI 定义,MEC 技术主要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^[9]。换句话说,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。同时,业务面下沉即本地化部署可有效降低网络负荷以及对网络回传带宽的需求,从而实现缩减网络运营成本的目的。除此之外,业务应用的本地化部署使得业务应用更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,从而可以有效提升用户的业务体验。更进一步,运营商可以通过 MEC 平台将无线网络能力开放给第三方业务应用以及软件开发商,为创新型业务的研发部署提供平台。因此,基于 MEC 技术,无线接入网可以具备低时延、高带宽的传输,无线网络上下文信息的感知以及向第三方业务应用的开放等诸多能力,从而可应用于具有低时延、高带宽传输、位置感知、网络状态上下文信息感知等需求的移动互联网和物联网业务,有效缓解业务应用快速发展给 LTE 网络带来的高网络负荷、高带宽以及低时延等要求,如图 1 所示。

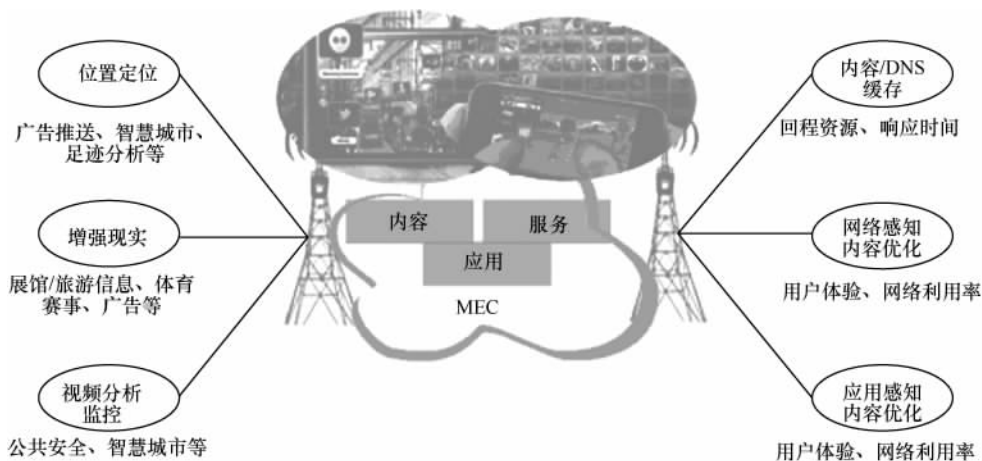


图 1 MEC 技术应用场景



2.2 MEC 平台

MEC 平台网络拓扑如图 2 所示。从图 2 可以看出, MEC 技术通过对传统无线网络增加 MEC 平台功能/网元,使其具备了提供业务本地化以及近距离部署的能力。然而 MEC 功能/平台的部署方式与具体应用场景相关,主要包括室外宏基站场景以及室内微基站场景。

(1) 室外宏基站

由于室外宏基站具备一定的计算和存储能力,此时可以考虑将 MEC 平台功能直接嵌入宏基站中,从而更有利于降低网络时延、提高网络设施利用率、获取无线网络上下文信息以及支持各类垂直行业业务应用(如低时延要求的车联网等)。

(2) 室内微基站

考虑到微基站的覆盖范围以及服务用户数,此时 MEC 平台应该是以本地汇聚网关的形式出现。通过在 MEC 平台上部署多个业务应用,实现本区域内多种业务的运营支持,例如物联网应用场景网关汇聚功能、企业/学校本地网络的本地网关功能以及用户/网络大数据分析功能等。

因此,为了让 MEC 更加有效地支持各种各样的移动

互联网和物联网业务,需要 MEC 平台的功能根据业务应用需求逐步补充完善并开放给第三方业务应用,从而在增强网络能力的同时改善用户的业务体验并促进创新型业务的研发部署。综上所述,MEC 技术的应用场景适用范围取决于 MEC 平台具有的能力。图 3 给出了 MEC 平台示意,主要包括 MEC 平台物理设施层、MEC 应用平台层以及 MEC 应用层。

(1) MEC 平台基础设施层

基于通用服务器,采用网络功能虚拟化的方式,为 MEC 应用平台层提供底层硬件的计算、存储等物理资源。

(2) MEC 应用平台层

由 MEC 的虚拟化管理和应用平台功能组件组成。其中, MEC 虚拟化管理采用以基础设施作为服务(infrastructure as a service, IaaS)的思想,为应用层提供一个灵活高效、多个应用独立运行的平台环境。MEC 应用平台功能组件主要包括数据分流、无线网络信息管理、网络自组织(self-organizing network, SON)管理、用户/网络大数据分析、网络加速以及业务注册等功能,并通过开放的 API 向上层应用开放。

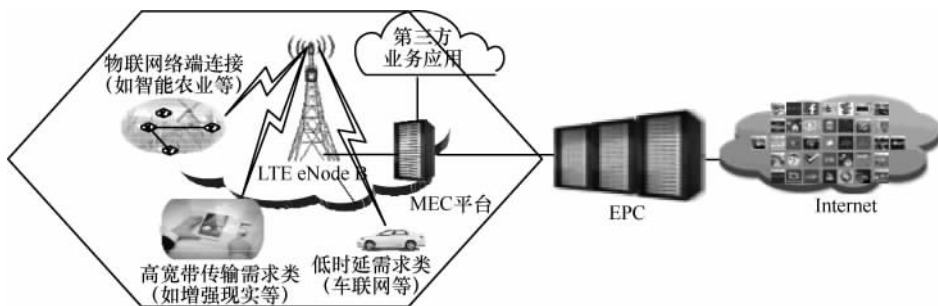


图 2 MEC 平台网络拓扑

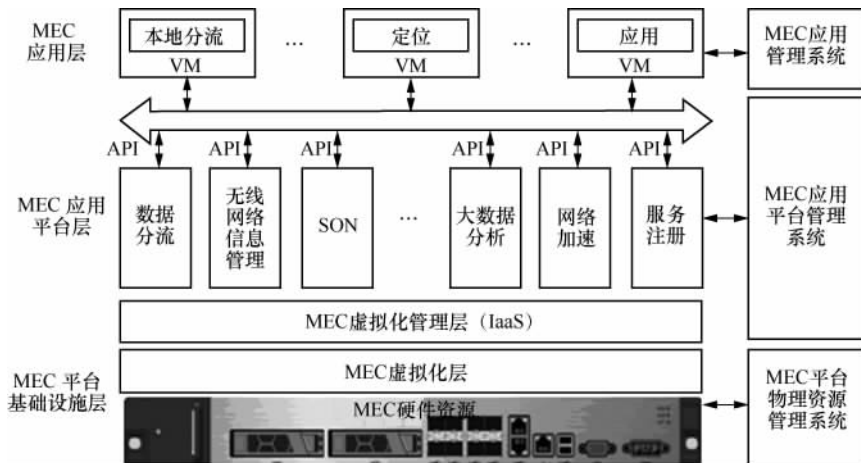


图 3 MEC 平台示意

(3) MEC 应用层

基于网络功能虚拟化 VM 应用架构, 将 MEC 应用平台功能组件进一步组合封装成虚拟的应用 (本地分流、无线缓存、增强现实、业务优化、定位等应用), 并通过标准的接口开放给第三方业务应用或软件开发商, 实现无线网络能力的开放与调用。

除此之外, MEC 平台物理资源管理系统、MEC 应用平台管理系统以及 MEC 应用管理系统则分别实现 IT 物理资源、MEC 应用平台功能组件/API 以及 MEC 应用的管理和向上开放。

可以看出, 无线网络基于 MEC 平台可以提供诸如本地分流、无线缓存、增强现实、业务优化、定位等能力, 并通过向第三方业务应用/软件开放商开放无线网络能力, 促进创新型业务的研发部署。需要注意的是, 本地分流是业务应用的本地化、近距离部署的先决条件, 也因此成为 MEC 平台最基础的功能之一, 从而使无线网络具备低时延、高带宽传输的能力。因此, 本文将在下面内容中重点针对基于 MEC 的本地分流方案进行详细描述, 并与 3GPP 中 LIPA/SIPTO 方案进行对比分析。

3 本地分流方案

3.1 基于 MEC 的本地分流方案

如前所述, 为实现业务应用在无线网络中的本地化、近距离部署以及低时延、高带宽的传输能力, 无线网络具备本地分流的能力。图 4 给出了基于 MEC 应用平台数据分流功能组件实现的本地分流方案示意, 其主要设计目标如下。

(1) 本地业务

用户可以通过 MEC 平台直接访问本地网络, 本地业务数据流无需经过核心网, 直接由 MEC 平台分流至本地网络。因此, 本地业务分流不仅降低回传带宽消耗, 同时也降低了业务访问时延, 提升了用户的业务体验。换句话说, 基于 MEC 的本地分流目标是实现类似 Wi-Fi 的 LTE 本地局域网。

(2) 公网业务

用户可以正常访问公网业务。包括两种方式: 一是 MEC 平台对所有公网业务数据流采用透传的方式直接发送至核心网; 二是 MEC 平台对于特定 IP 业务/用户通过本地分流的方式从本地代理服务器接入 Internet (由于此类业务是经过本地分流的方式进行, 后面描述的本地业务包含这部分本地分流的公网业务)。

(3) 终端/网络

本地分流方案需要在 MEC 平台对终端以及网络透明部署的前提下, 完成本地数据分流。也就是说, 基于 MEC 的本地分流方案无需对终端用户与核心网进行改造, 降低 MEC 本地分流方案现网应用部署的难度。

为了实现上述目标, 基于 MEC 的本地分流详细技术方案如下。

(1) 本地分流规则

MEC 平台需要具备 DNS 查询以及根据指定 IP 地址进行数据分流的功能。例如, 终端通过 URL (www.LocalIntranet.com) 访问本地网络时, 会触发 MEC 平台进行 DNS (domain name system, 域名系统) 查询, 查询 www.LocalIntranet.com 对应服务器的 IP 地址, 并将相应 IP 地址反馈给终端用户。因此, 需要 MEC 平台配置 DNS 查询规则, 将需要配置的本地 IP 地址与其本地域名对应起来。其次, MEC 平台收到终端的上行报文, 如果是指定本地子网的报文, 则转发给本地网络, 否则直接透传给核心网。同时, MEC 平台将收到的本地网络报文返回给终端用户。可以看出, 在本地分流规则中, DNS 查询功能不是必须的, 当没有 DNS 查询功能时, 终端用户可以直接采用本地 IP 地址访问的形式进行, MEC 平台根据相应的 IP 分流规则处理相应的报文即可。除此之外, 也可以配置相应的公网 IP 分流规则, 实现对于特定 IP 业务/用户通过本地分流的方式从本地代理服务器接入分组域网络, 实现对于公网业务的选择性 IP 数据分流。

(2) 控制面数据

MEC 平台对于终端用户的控制面数据即 S1-C, 采用

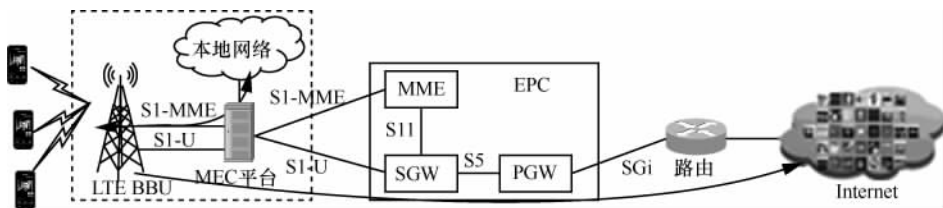


图 4 基于 MEC 的本地分流方案示意



直接透传的方式发给核心网,完成终端正常的鉴权、注册、业务发起、切换等流程,与传统的 LTE 网络无区别。即无论是本地业务还是公网业务,终端用户的控制依然在核心网进行,保证了基于 MEC 的本地分流方案对现有网络是透明的。

(3)上行用户面数据处理

公网上行业务数据经过 MEC 平台透传给运营商核心网 SGW 设备,而对于符合本地分流规则的上行数据分组,则通过 MEC 平台路由转发至本地网络。

(4)下行用户面数据处理

公网下行业务数据经过 MEC 平台透传给基站,而对于来自本地网络的下行数据分组,MEC 平台需要将其重新封装成 GTP-U 的数据分组发送给基站,完成本地网络下行用户面数据分组的处理。

可以看出,基于 MEC 的本地分流方案通过在传统的 LTE 基站和核心网之间部署 MEC 平台(串接),根据 IP 分流规则的设定,从而实现本地分流的功能。如上所述,MEC 平台对控制面数据(S1-C)直接透传给核心网,仅对用户面数据根据相关规则进行分流处理,由此保障了基于 MEC 的本地分流方案对现有 LTE 网络的终端以及网络是透明的,即无需对现有终端及网络进行改造。因此,基于 MEC 的本地分流方案可以在对终端及网络透明的前提下,实现终端用户的本地业务访问,为业务应用的本地化、近距离部署提供可能,实现了低时延、高带宽的 LTE 的本地局域网。同时,由于 MEC 对终端公网业务采用了透传的方式,因此不影响终端公网业务的正常访问,使得基于 MEC 的本地分流方案更易部署。

综上所述,基于 MEC 的本地分流方案可广泛应用在企业、学校、商场以及景区等需要本地连接以及本地大流

量业务传输(高清视频)等需求的应用场景。以企业/学校为例,基于 MEC 的本地分流可以实现企业/学校内部高效办公、本地资源访问、内部通信等,实现免费/低资费、高体验的本地业务访问,使得大量本地发生的业务数据能够终结在本地,避免通过核心网传输,降低回传带宽和传输时延。对于商场/景区等,可以通过部署在商场/景区的本地内容,实现用户免费访问,促进用户最新资讯(商家促销信息等)的获取以及高质量音视频介绍等,同时企业/校园/商场/景区的视频监控也可以通过本地分流技术直接上传给部署在本地的视频监控中心,在提升视频监控部署便利性的同时降低了无线网络回传带宽的消耗。除此之外,基于 MEC 的本地分流也可以与 MEC 定位等功能结合,实现基于位置感知的本地业务应用和访问,改善用户业务体验。

3.2 LIPA/SIPTO 本地分流方案

第 3.1 节给出了基于 MEC 的本地分流技术方案,但关于无线网络本地分流的需求已经由来已久,早在 2009 年 3GPP 的 SA#44 会议上,沃达丰等运营商联合提出 LIPA/SIPTO,其应用场景与第 3.1 节描述的本地分流目标相同。同时经过 R10、R11 等持续研究推进^[10],LIPA/SIPTO 目前存在多种实现方案,下面仅就确定采用的且适用于 LTE 网络的方案进行介绍,以便于与基于 MEC 的本地分流方案进行对比分析。

(1)家庭/企业 LIPA/SIPTO 方案

经过讨论,确定采用 L-S5 的本地方案实现 LIPA 本地分流^[11],它适用于 HeNB LIPA 的业务分流,如图 5 所示。可以看出,该方案在 HeNB 处增设了本地网关(LGW)网元,LGW 与 HeNB 可以合设也可以分设,LGW 与 SGW 间通过新增 L-S5 接口连接,HeNB 与 MME、SGW 之间通过原有 S1 接口连接。此时,对于终端用户访问本地业务的数据

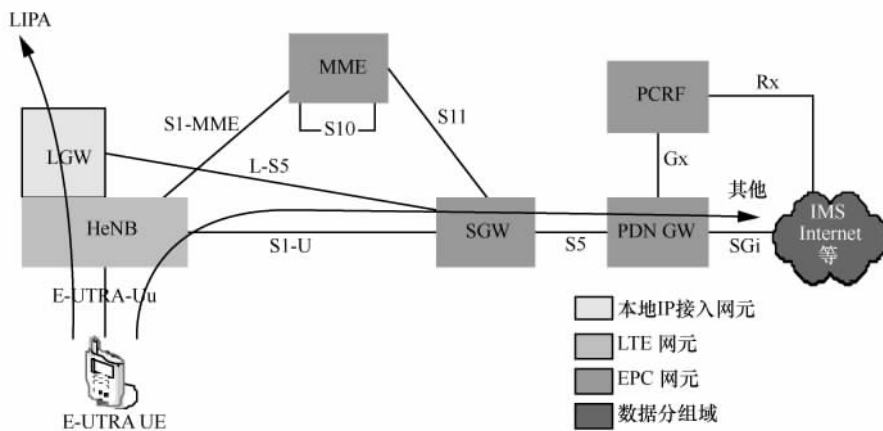


图 5 3GPP 家庭/企业 LIPA/SIPTO 方案^[11]

流,在 LGW 处分流至本地网络中,并采用专用的 APN 来标识需要进行业务分流的 PDN。同时,终端用户原有公网业务则采用与该 PDN 不同的原有 PDN 连接进行数据传输,即终端用户需采用原有 APN 标识其原有公网业务的 PDN。

除此之外,需要注意的是,当 LGW 与 HeNB 分设时,需要在 LGW 与 HeNB 间增加新的接口 Sxx。如果 Sxx 接口同时支持用户面和控制面协议,则和 LGW 与 HeNB 合设时类似,对现有核心网网元以及接口改动较小。如果 Sxx 仅支持用户面协议,则 LIPA 的实现类似于直接隧道的建立方式,对现有核心网网元影响较大。

除此之外,当 LGW 支持 SIPTO 时,LIPA 和 SIPTO 可以采用同样的 APN,而且 HeNB SIPTO 不占用运营商网络设备和传输资源,但 LGW 需要对 LIPA 以及 SIPTO 进行路由控制^[12]。

可以看出,终端用户的本地访问需要得到网络侧授权,同时还需要提供专用的 APN 来请求 LIPA/SIPTO 连接。

(2)宏网络 SIPTO 方案

对于 LTE 宏网络 SIPTO 方案,3GPP 最终确定采用 PDN 连接的方案(本地网关)进行,如图 6 所示。可以看出,该方案通过将 SGW 以及 L-PGW 部署在无线网络附近,SGW 与 L-PGW 间通过 S5 接口连接(L-PGW 与 SGW 也可以合设),SIPTO 数据与核心网数据流先经过同一个 SGW,然后采用不同的 PDN 连接进行传输,实现宏网络的 SIPTO。

其中,用户是否建立 SIPTO 连接由 MME 进行控制,通过用户的签约信息(基于 APN 的签约)来判断是否允许数据本地分流。如果 HSS 签约信息不允许,则 MME 不会执行 SIPTO,否则 SIPTO 网关选择为终端用户选择地理/逻辑上靠近其接入点的网关,包括 SGW 以及 L-PGW。其

中,SGW 的选择在终端初始附着和移动性管理过程中建立的第一个 PDN 连接时进行,L-PGW 的选择则是在建立 PDN 连接时进行。为了能够选择靠近终端用户的 L-PGW,其 L-PGW 的选择通过使用 TAI、eNode B ID 或者 TAI+eNode B ID 来进行 DNS 查询。

可以看出,宏网络的 SIPTO 依然由网络侧进行控制,并且基于专用 APN 进行。

3.3 方案对比

经过上述讨论可以得出,基于 MEC 的本地分流方案以及 3GPP 中 LIPA/SIPTO 方案,均可以满足无线网络本地分流的应用场景需求,即本地业务访问、本地网络 SIPTO 以及宏网络的 SIPTO。需要注意的是,3GPP LIPA/SIPTO 方案需要终端支持多个 APN 的连接,同时需要增加新的接口以实现基于 APN 的 PDN 传输建立。本地分流方案对比结果见表 1。

而在基于 MEC 的本地分流方案中,MEC 平台对于终端与网络是透明的,可以通过 IP 分流规则的配置实现终端用户数据流按照指定 IP 分流规则执行,而且无需区分基站类型。更进一步,由于 MEC 的本地分流方案对终端与网络是透明的,因此更适合于 LTE 现网本地分流业务的部署。

4 问题与挑战

综上所述,MEC 技术通过为无线接入网提供 IT 和云计算的能力,使其具备了业务本地化、近距离部署的条件,从而使无线接入网具备低时延、高带宽的传输,无线网络上下文信息的感知以及向第三方业务应用的开放等诸多能力,从而可应用于具有低时延、高带宽传输、位置感知、网络状态上下文信息感知等需求的移动互联网和物联网

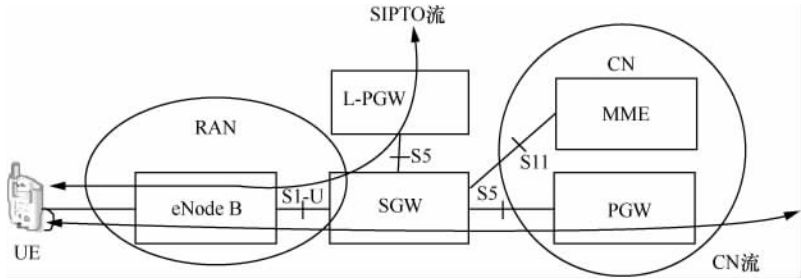


图 6 3GPP 基于 PDN 连接的宏网 SIPTO 方案^[11]

表 1 本地分流方案对比

方案	终端	网络	本地业务访问	本地网络 SIPTO	宏网络 SIPTO
基于 MEC 的本地分流方案	无影响	无影响	支持	支持	支持
3GPP LIPA/SIPTO	支持多个 APN 连接	APN 签约,PDN 选择,增加新接口	支持	支持	支持



业务,有效缓解业务应用快速发展给 LTE 网络带来的高网络负荷、高带宽以及低时延等要求。除此之外,基于 MEC 的本地分流方案通过对本地指定 IP 数据流进行分流、公网数据流透传的方式实现了 MEC 平台的透明部署,从而在不影响现网的情况实现了无线网络数据本地分流功能,为业务本地化、近距离部署提供了先决条件。然而,MEC 以及基于 MEC 的本地分流方案真正应用到现网中还存在一些问题与挑战,主要包括以下几个方面。

(1) MEC 平台旁路功能

如图 2 所示,MEC 平台串接在基站与核心网之间,此时 MEC 平台需要支持旁路功能。也就是说,当 MEC 平台意外失效,例如电源故障、硬件故障、软件故障等,MEC 平台需要自动启用旁路功能,使基站与核心网实现快速物理连通,不经过 MEC 平台,从而避免 MEC 平台成为单点故障。如果 MEC 平台恢复正常,MEC 平台就需要自动关闭旁路功能。除此之外,MEC 平台升级维护以及调试时,也需要 MEC 平台支持手动启用旁路功能,从而降低网络运维管理的难度。

(2) MEC 本地分流方案的计费问题

由于业务应用的本地化、近距离部署以及 MEC 本地分流方案,使得本地业务数据流无需经过核心网,这种透明部署的方式使得 MEC 本地分流方案无法像传统 LTE 网络,由 PGW 提供计费话单并与计费网关连接。因此 MEC 本地业务如何计费成为 MEC 本地分流方案应用需要解决的问题。是否采用简单的按时长、按流量计费或传统的 LTE 计费方式则需要进一步深入研究。

(3) 公网业务与本地业务的隔离与保护

如前所述,基于 MEC 的本地分流方案可以实现本地业务和公网业务同时进行,考虑到用户在承载建立过程中,核心网无法区分用户访问的是公网业务还是本地业务,此时本地高速率业务访问对无线空口资源的大量消耗可能会影响公网正常业务的访问(尤其是宏覆盖场景),此时 MEC 平台如何通过相应的策略实现本地业务与公网正常业务之间的隔离与保护成为 MEC 本地分流方案现网应用需要重点考虑的问题。

(4) 安全问题

MEC 平台可以将无线网络上下文信息(位置、网络负荷、无线资源利用率等)以及其他无线网络能力开放给第三方业务应用和软件开发商,用于用户业务体验的提升以及创新型业务的研发部署。此时传统无线网络的封闭架构

被打开,需要重点关注由此带来的无线网络安全、信息安全等问题,这些都是 MEC 本地分流方案的现网部署需要进一步研究的问题。

5 结束语

本文详细介绍了 MEC 技术以及 MEC 平台框图,并针对基于 MEC 平台的本地分流功能,给出了详细的技术方案。除此之外,相比于 3GPP 现有本地分流方案 LIPA/SIPTO,基于 MEC 的本地分流方案对于终端与网络是透明的,更适合 LTE 现网本地分流业务的部署。然而,基于 MEC 的本地分流方案现网应用还有很多挑战亟待解决,包括旁路功能、计费问题、安全问题等,这些都是后续工作需要重点研究解决的问题。

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] DINH H T, LEE C, NIYATO D, et al. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2013, 13(18): 1587-1611.
- [4] Ericsson mobility report[ROL]. (2013-06-29)[2015-12-20] <http://www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-mobility-report-june-2013.pdf>.
- [5] LIU J, AHMED E, SHIRAZ M, et al. Application partitioning algorithms in mobile cloud computing: taxonomy, review and future directions[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015(48): 99-117.
- [6] AHMED E, AKHUNZADA A, WHAIDUZZAMAN M, et al. Network-centric performance analysis of runtime application migration in mobile cloud computing [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2015(50): 42-56.
- [7] BECK M, WERNER M, FELD S, et al. Mobile edge computing: a taxonomy [C]//The 6th International Conference on Advances in Future Internet, November 16-20, 2014, Lisbon, Portugal. [S.l.:s.n.], 2014.
- [8] NUNNA S, KOUSARIDAS A, IBRAHIM M, et al. Enabling real-time context-aware collaboration through 5G and mobile edge computing [C]//The 12th International Conference on Information Technology-New Generations (ITNG), April 13-15, 2015, Las Vegas, NV, USA. New Jersey: IEEE Press, 2015: 601-605.
- [9] PATEL M. Mobile-edge computing introductory technical white

paper[R]. 2014.

[10] 3GPP. General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access (release 10); TS 23.401[S]. 2011.

[11] 3GPP. Local IP access and selected IP traffic offload (LIPA-SIPTO)(release 10); TR 23.829[S]. 2011.

[12] 3GPP. LIPA mobility and SIPTO at the local network (release 11); TR 23.859[S]. 2011.

[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。



谢亮(1975-),男,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。