



基于 MEC 的 LTE 本地分流技术

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: 考虑到目前政企、校园以及部分垂直行业低时延以及大流量本地业务传输的需求, 给出了一种基于 MEC 的 LTE 本地分流技术方案, 并针对该方案的可行性进行了深入分析。相比于 3GPP 中的 LIPA/SIPTO 技术方案, 基于 MEC 的本地分流方案可以实现 MEC 平台的透明部署, 终端无需支持多个 APN 连接, 从而为用户提供一种“虚拟的 LTE 局域网”体验。最后, 针对该方案在现网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.1000-0801.2017082

Traffic offloading technology in LTE network using MEC

ZHANG Jianmin, XIE Weiliang, YANG Fengyi, WU Zhouyun

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

Abstract: Considering the current demand of low-delay and local traffic in some vertical industries, a technical scheme of LTE local shunt based on MEC was proposed, and the feasibility of the scheme was analyzed. Compared with LIPA/SIPTO scheme in 3GPP, MEC-based local streaming scheme could realize the transparent deployment of MEC platform, and the terminal does not need to support multiple APN connections, so as to provide users with a “virtual LTE local area network” experience. Finally, the problems and challenges in the application of the scheme were discussed, which could provide reference for the follow-up research and development.

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。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]。为了解决未来移动网络 1 000 倍的流量增长以及用户 10~100 倍的业务体验提升需求, 除了需要增加频谱带宽、提升频率利用率外, 核心网需要通过业务面下沉、业务本地化部署、本地分流、缓存加速等方式有效避免核心网数据传输瓶颈的出

收稿日期: 2017-02-13; 修回日期: 2017-03-24

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)

现,从而缓解 LTE 网络数据面过于集中在 PGW 以及所有数据必须经过 PGW 可能带来的问题。

为了实现核心网业务面下沉/本地化部署以及本地分流,解决政企、校园以及部分垂直行业大流量场景所要求的低时延、高带宽的本地连接以及业务本地分流能力,3GPP 在 2009 年提出了 LIPA/SIPTO 的技术方案^[2,3]。然而,基于 3GPP LIPA/SIPTO 的本地分流方案要求终端支持多个 APN 的连接,同时需要增加新的网元和接口以实现基于 APN 的 PDN 传输建立,无法实现对于网络以及终端用户的透明部署,增加了其应用部署的难度。因此,如何在透明部署的前提下,实现本地业务分流是 LTE 现网重点关注并亟需解决的问题,也成为本文关注的重点。

与此同时,为了有效解决移动互联网和物联网快速发展带来的高网络负荷、高带宽以及低时延等要求,MEC 概念得以提出并得到了广泛关注^[4,5]。MEC 技术主要是指通过在无线接入侧部署通用服务器,为无线接入网提供 IT 和云计算的能力,从而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,具备提供低时延、高带宽的传输能力,可有效缓解未来移动网络对于传输带宽以及时延的要求。同时,业务面下沉及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。

因此,针对政企、校园以及部分垂直行业大流量场景所要求的低时延、高带宽的本地连接及本地业务传输需求,以及对于网络和终端透明部署的运维需求,本文给出了一种基于 MEC 的 LTE 本地分流技术方案,并针对该方案的可行性进行了深入的技术分析。可以看出,该方案可以实现 MEC 平台的透明部署,终端无需支持多个 APN 连接,从而为用户提供一种“虚拟的 LTE 局域网”体验。更进一步,针对上述方案在现网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 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案

2.1 方案设计目标

如前所述,为了满足政企、校园、部分垂直行业所需的低时延、高带宽的本地连接以及本地业务传输需求,以及对于网络和终端透明部署的运维需求,基于 MEC 的 LTE 本地分流方案需要满足如下设计目标。

(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。此时,本地业务分流不仅降低回传带宽消耗,同时本地业务的近距离部署也可降低业务访问时延,提升用户的业务体验。换句话说,基于 MEC 的本地分流目标是为用户提供一种低时延、高带宽的“虚拟的 LTE 局域网”体验。

(2) 公网业务

用户可以正常访问公网业务。包括两种方式:第一种方式是 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,第二种方式是 MEC 平台对于特定 IP 业务/用户先通过本地分流的方式进入本地网络,然后通过本地网络接入 Internet (此方式应用于企业,企业认证用户通过企业自有宽带接入 Internet)。

(3) 终端/网络

MEC 平台需要对终端以及网络实现透明部署的前提下,完成本地业务分流。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,从而降低 MEC 本地分流方案现网应用部署及推广的难度。

2.2 分流方案架构

基于 MEC 的 LTE 本地分流方案如图 1 所示。可以看出,MEC 平台通过串接部署在基站和核心网间,对流经 MEC 平台的 S1-MME 接口信令数据以及 S1-U 接口的用户面数据分别进行分析处理。

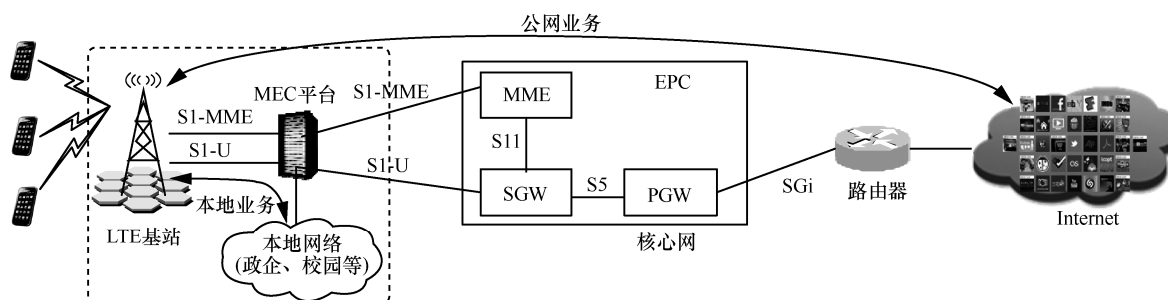


图1 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案

(1) 控制面 (S1-MME) 信令数据

对于终端用户的控制面数据, MEC 平台采用透传的方式发送至核心网, 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 网络无任何区别。即, 无论是本地业务还是公网业务, 终端用户的控制依然由核心网负责, 从而保证了基于 MEC 的 LTE 本地分流方案对现有网络和终端是透明的。除此之外, MEC 平台需要对 S1-MME 接口部分控制信令进行解析, 获取用户上下文相关信息 (UE IP、S1-U eNode B TEID (下行 TEID)、S1-U SGW TEID (上行 TEID)、ECGI、GUTI 等), 为用户面数据的分析处理提供信息。基于 MEC 的 LTE 本地分流方案所需的上下文信息以及解析将在第 3 节进行详细分析。

(2) 上行用户面 (S1-U) 数据

MEC 平台通过将 S1-U 数据分组的 GTP 分组头去掉, 分析该 IP 数据分组的目标 IP 地址、源 IP 地址以及端口等信息, 根据 MEC 平台预先配置的本地分流规则 (目标 IP 地址、目标 IP 地址+端口、源 IP 地址等) 进行处理。

- 公网业务: MEC 平台将原 S1-U 数据分组透传给 SGW, 无需处理。
- 本地业务: MEC 平台根据本地分流规则将本地业务 IP 数据分组转发至本地网络, 完成本地业务的分流。

(3) 下行用户面 (S1-U) 数据

- 公网业务: MEC 平台将原 S1-U 数据分组透传给 eNode B, 无需处理。
- 本地业务: MEC 平台需要根据从 S1-MME

接口获取的用户下行 TEID, 将来自本地网络的该用户 IP 数据分组封装成 GTP-U 数据分组发送给 eNode B, 从而完成本地业务下行数据分组的发送。

可以看出, 基于 MEC 的 LTE 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), 并根据本地分流规则进行本地业务数据分流, 满足了 LTE 本地连接以及本地业务传输的业务需求。除此之外, MEC 平台将控制面数据、用户公网业务数据直接透传给核心网的方式, 保证了 MEC 平台对现有 LTE 网络和终端是透明的, 即无需对现有终端及网络进行改造, 使得该方案更易落地部署。

需要注意的是, 上述基于 MEC 的 LTE 本地分流方案的关键点在于用户下行 TEID 的获取, 尤其是在用户移动切换过程中, 如何获取用户的下行 TEID 成为保障本地业务连续性首要解决的问题。因此, 将针对如何获取用户下行 TEID, 尤其是切换场景下如何获取 TEID 进行深入的可行性分析。

3 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案可行性分析

根据第 2.2 节所述, MEC 平台需要对 S1-MME 部分控制信令进行解析, 获取并维护用户上下文相关信息为用户面数据分组的处理提供参考信息, 主要包括 (不限) 以下信息。

- UE IP: UE IP 地址。
- eNode B-UE-S1AP-ID: UE 在 eNode B 侧

S1 接口的标识信息。

- MME-UE-S1AP-ID: UE 在 MME 侧 S1 接口的标识信息。
- S1-U eNode B TEID (下行 TEID): 下行 GTP-U 隧道标识。
- S1-U SGW TEID (上行 TEID): 上行 GTP 隧道标识。
- ECGI、GUTI、ERB 等上下文信息: 小区位置信息、用户临时 ID、承载等上下文信息。

MEC 平台通过上述用户上下文信息的获取和维护获得用户下行 TEID、用户 IP 地址、用户 ID 等相关信息的对应关系,同时 ECGI 等上下文信息的获取也为后续提供基于 MEC 的本地服务提供基础(如基于位置的服务)。下面将根据 LTE 典型业务流程(附着、业务请求、切换),通过 eNode B 与 MME 间相关信令的解析,完成基于 MEC 的 LTE 本地分流方案中下行 TEID 获取的可行性分析。

3.1 附着流程

首先,用户开机选择驻留的小区后会发起附着流程,完成用户的鉴权、认证、IP 地址分配、承载建立等过程,如图 2 所示。可以看出,用户的整个附着过程比较复杂。考虑到 MEC 平台是串接在 eNode B 和核心网之间,只能通过 eNode B 和 MME 间的 S1-MME 接口信令分析获取用户的上下文信息。考虑到篇幅的限制,图 2 中略去了部分相关度不高的流程(步骤 3~16),完整的附着流程可以参考 3GPP TS23.401^[6]中的详细说明。

从图 2 可以看出,eNode B 和 MME 间的信令主要包括 attach request (附着请求,该 NAS 层消息包含在 initial UE 消息中)、initial context setup request (初始上下文建立请求)以及 initial context setup response (初始上下文建立响应)等消息。其中各个信令主要内容解析如下。

- initial UE (UE 初始化,包含附着请求消

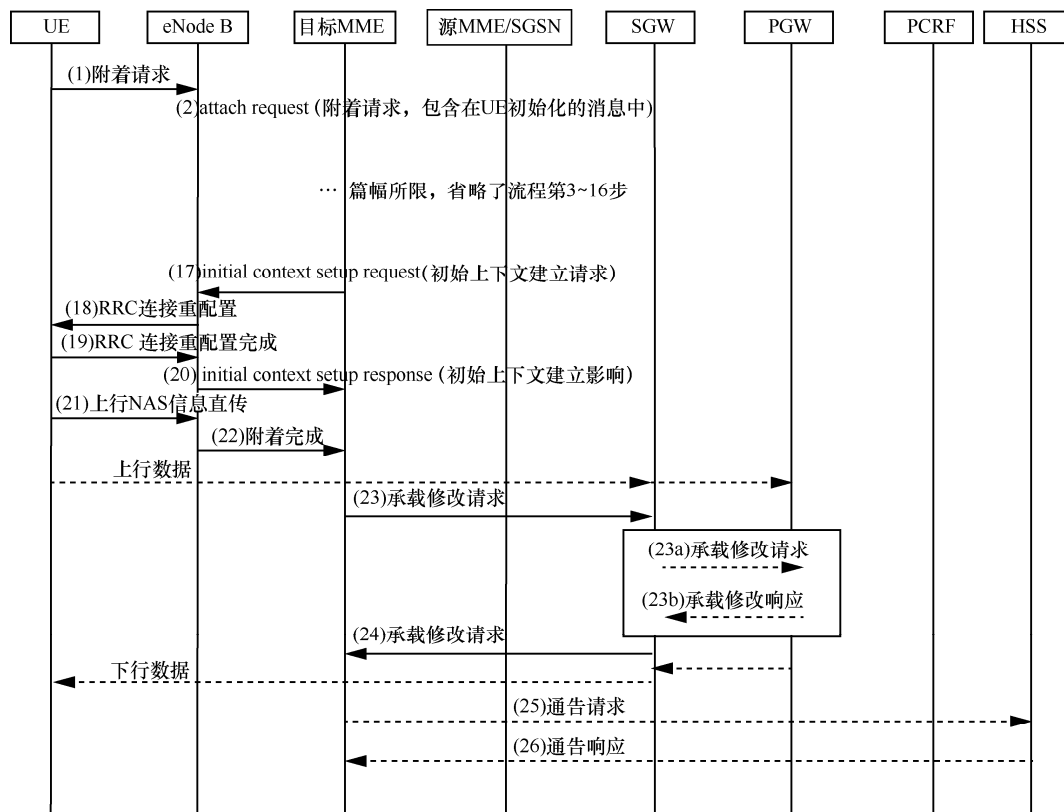


图 2 LTE 用户附着流程



息)：包含 eNode B-UE-S1AP-ID、GUTI/IMSI (IMSI 仅适用初次获取)、ECGI 等内容。

- 初始上下文建立请求：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、上行 TEID、GUTI 等内容；
- 初始上下文建立响应：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、下行 TEID 等内容。

通过上面分析可以明显看出，在用户开机附着的过程中，MEC 平台仅需通过对 initial UE (用户初始化)、初始上下文建立请求以及初始上下文建立响应消息的解析，即可获得用户相关的上下文信息，尤其是用户的下行 TEID，从而为本地业务下行数据分组的封装扫清了障碍。同时，MEC 平台通过 S1-U 用户面数据分组解析获得该用户的 IP 地址与上下行 TEID 的对应关系，维护用户的上下文信息。

3.2 业务请求流程

在 LTE 网络中，用户的业务请求分为用户发起和网络发起，分别对应用户主动发起上行业务和网

络侧有下行数据业务到达时，先寻呼用户然后再由用户发起业务请求的方式，具体流程可以参考 3GPP TS23.401。

从图 3 用户发起的业务请求流程可以看出，eNode B 和 MME 间的信令主要包括 service request (业务请求)、初始上下文建立请求以及初始上下文建立响应等消息。其中各个信令主要内容解析如下。

- 业务请求：包含 eNode B-UE-S1AP-ID、GUTI、TAI、ECGI 等内容。
- 初始上下文建立请求：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、上行 TEID 等内容。
- 初始上下文建立响应：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、下行 TEID 等内容。

很明显，在用户进行业务请求的过程中，MEC 平台仅需通过对附着请求、初始上下文建立请求以及初始上下文建立响应消息的解析，即可获得用户相关的上下文信息，尤其是用户的下行 TEID。需要注意的是，由于用户进行业务请

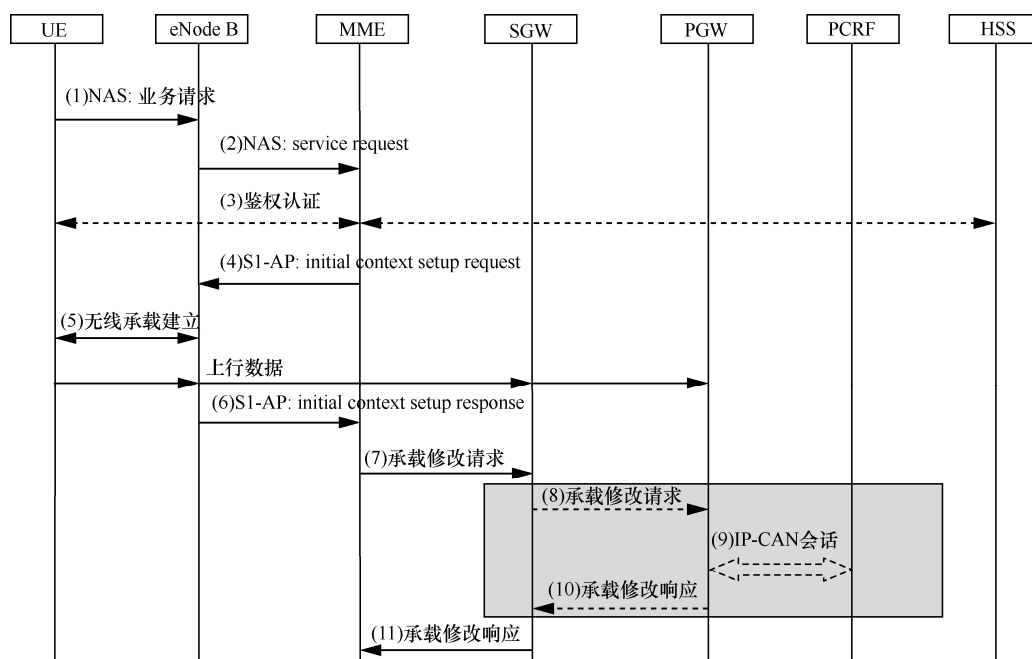


图 3 LTE 网络用户业务请求流程

求前, 该用户已分配 IP 地址, 且网络侧存在用户的上下文信息, 所以上述信令中无需包含用户的 IP 地址。此时需要对 MEC 平台已有的该用户上下文信息 (之前在 MEC 平台下完成附着或发起过上下行业务), 或者 MEC 平台通过 S1-U 用户面数据分组进行解析, 获得该用户的 IP 地址 (新切换进来的用户, MEC 平台无该用户上下文信息)。

除此之外, 网络发起的业务请求流程是当网络侧有下行数据业务到达时, 通过先寻呼用户然后再由用户发起业务请求的方式进行业务请求, 也就是说网络发起的业务请求包含上述用户发起业务请求的流程。因此, 可以针对相同的信令消息进行解析, 完成用户下行 TEID 等上下文信息的获取。

3.3 切换流程

在基于 MEC 的 LTE 本地分流方案中, 由于终端用户移动, 存在 3 种切换场景, 如图 4 所示, 分别介绍如下。

- 切换场景一: 用户从非 MEC 区域切换进入 MEC 区域, 即源 eNode B 不在 MEC 区域, 目标 eNode B 在 MEC 区域内。
- 切换场景二: 用户在 MEC 区域内切换, 即源 eNode B 与目标 eNode B 均在 MEC 区域内。
- 切换场景三: 用户从 MEC 区域切换进入非 MEC 区域, 即源 eNode B 在 MEC 区域, 目标 eNode B 在非 MEC 区域。由于用户已移出本地业务的覆盖区域, 故无需讨论。

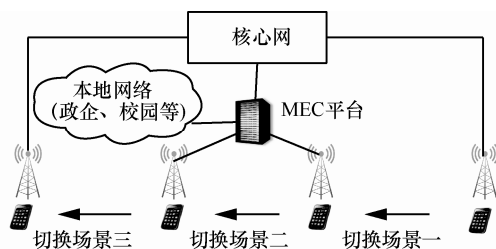


图 4 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案切换场景

同时在 LTE 网络中, 存在 S1 切换和 X2 切换两种切换方式。因此, 下面将分别针对场景一和场景二的两类切换方式分别进行讨论。

(1) S1 切换

S1 切换流程如图 5 所示。可以看出, eNode B 与 MME 间的信令主要包括源 eNode B 与源 MME 间的 handover required (切换请求) 和 handover command (切换执行) 消息, 以及目标 eNode B 与目标 MME 间的 handover request (切换请求) 和 handover request acknowledge (切换请求确认) 消息。其中目标 eNode B 与目标 MME 间的消息解析如下。

- 切换请求: 包含 MME-UE-S1AP-ID、目标上行 TEID、目标 ECGI 等内容。
- 切换请求确认: 包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、目标下行 TEID、下行数据转发的目的 TEID 等内容。

由于 S1 切换过程中, 源 eNode B 的下行数据需要通过源 SGW 转发至目标 SGW 再到目标 eNode B, 此时串接在目标 eNode B 与目标 SGW 的 MEC 平台可通过 S1-U 数据拆分组, 获取用户 IP 地址与下行数据转发的目的 TEID 的对应关系。同时通过与从目标 eNode B 与目标 MME 间的切换请求和切换请求确认消息解析的内容关联, 完成用户 IP 地址、目标下行 TEID 等上下文信息的获取。

通过上述分析可以得出, MEC 平台所需的用户上下文信息, 尤其是下行 TEID 的获取与源 eNode B 是否在 MEC 区域内无直接关系, 因此对于场景一 (非 MEC 区域切换至 MEC 区域) 以及场景二 (MEC 区域内部切换), 均可以完成用户下行 TEID 等上下文信息的获取。

(3) X2 切换

相比于 S1 切换, 由于 X2 切换相关信息不经过 MEC 平台, 给用户上下文信息的获取带来了一定的困难, 如图 6 所示。但是用户完成 X2 切换后,

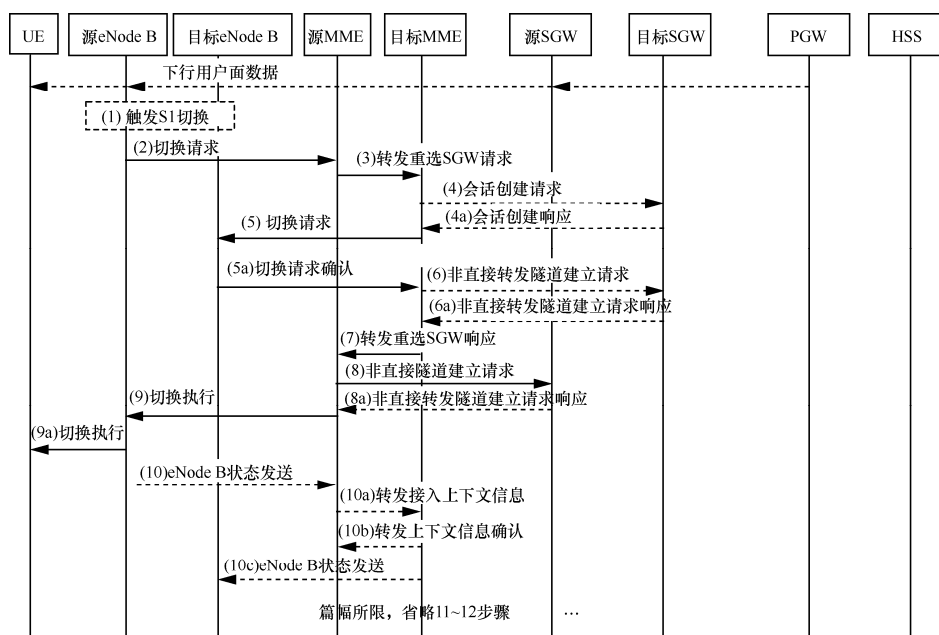


图5 LTE的S1切换流程

目标 eNode B 需要在 MME 的控制下完成数据传输路径的切换流程，即 path switch request（路径切换请求）和 path switch request Ack（路径切换请求确认）。此时 MEC 平台可以通过上述消息的解析获取如下信息。

- 路径切换请求：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B-UE-S1AP-ID、目标下行 TEID、目标 ECGI 等内容。
- 路径切换请求确认：包含 MME-UE-S1AP-ID、eNode B- UE-S1AP-ID、目标上行 TEID 等内容。

此时对于场景二 MEC 区域内切换，由于 MEC 平台保存有用户上下文信息，仅需根据 MME-UE-S1AP-ID 与用户 IP 地址等对应关系完成用户上下文信息的更新，获取用户的下行 TEID。与 S1 切换类似，MEC 平台所需的用户上下文信息，尤其是下行 TEID 的获取与源 eNode B 是否在 MEC 区域内无直接关系，因此对于场景一（非 MEC 区域切换至 MEC 区域）以及场景二（MEC 区域内部切换），均可以完成用户下行 TEID 等上下文信息的获取。

基于上述分析，可以看出 MEC 平台通过串接在 eNode B 与核心网间可有效获取用户的下行 TEID，解决了该方案现网部署最重要的技术问题，从而满足政企、校园、部分垂直行业所需的低时延、高带宽的本地连接以及本地业务传输需求，以及对于网络和终端透明部署的运维需求。与此同时，MEC 平台除了获取用户 TEID 等网络上下文信息外，还可以通过感知获取用户位置、网络负荷、无线资源利用率等相关信息，开放给第三方业务应用的方式提升用户体验，并为创新型业务的研发部署提供平台。

3.3 方案对比

需要注意的是，除了前面讨论的基于 MEC 的 LTE 本地分流方案外，现有 3GPP 中的 LIPA/SIPTO 方案同样可以满足本地网络访问以及本地网络分流。然而经过前期方案分析和研究^[7]，3GPP 中 LIPA/SIPTO 方案对于终端和网络提出了新的要求，即终端需支持多个 APN 的连接，同时网络侧需要增加新的接口以实现基于 APN 的 PDN 传输建立。

然而，经过上述分析可以看出，基于 MEC 的

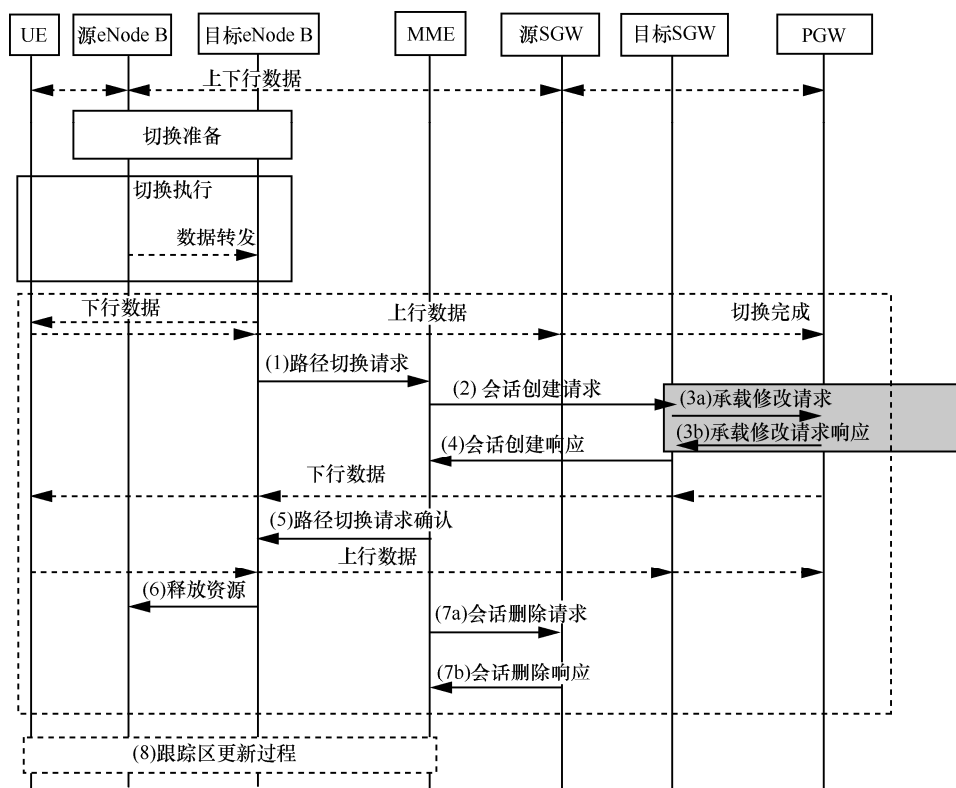


图 6 LTE 的 X2 切换流程

LTE 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），并根据本地分流规则进行本地业务数据分流，满足了 LTE 本地连接以及本地业务传输的业务需求。除此之外，MEC 平台对控制面数据、用户公网业务数据直接透传给核心网的方式，保证了 MEC 平台对现有 LTE 网络和终端是透明的，即无需对现有终端及网络进行改造，使得该方案更易落地部署。

3.4 部署建议

针对前述政企、校园、部分垂直行业等业务应用场景，基于 MEC 的 LTE 本地分流方案存在不同的部署策略和建议。

(1) 低时延业务场景

为了满足部分垂直行业的低时延业务需求，建议将 MEC 功能直接部署在基站上，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。

(2) 本地高速连接/分流场景

为了满足企业办公、校园等热点高容量场景的本地连接以及本地分流的需求，结合室外宏基站以及室内微基站覆盖范围以及服务用户数目，建议 MEC 以本地汇聚网关的形式出现，实现企业园区、校园等本地业务数据的汇聚以及分流处理，真正实现数据本地发生、本地终止的目标。

除此之外，随着未来网络通信设施的 DC 化改造的趋势，虚拟化的 MEC 功能或者网元可部署在边缘 DC，提供更大范围的服务能力。更进一步，DC 化改造使得固网以及移动网络设备共机房部署，此时可以考虑基于 MEC 的本地分流方案，充分发挥固网的传输以及业务资源，降低网络回传带宽消耗。

4 面临的挑战

综上所述，基于 MEC 的 LTE 本地分流方案可以在对网络 and 用户实现透明部署的前提下，为



用户提供低时延、高带宽的本地连接以及本地业务传输能力,为用户提供虚拟的 LTE 局域网体验,满足政企、校园、部分垂直行业的业务需求。然而基于 MEC 的 LTE 本地分流方案直接应用还有如下问题需要解决。

(1) MEC 平台旁路功能

如图 1 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。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。通过支持旁路功能,从而避免 MEC 单点故障影响 LTE 现网运维指标,降低该方案现网部署推广的阻力。

(2) 计费问题

MEC 平台透明部署的方式使得基于 MEC 的 LTE 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。因此对于本地业务流量如何计费成为该方案落地商用需要考虑的问题。是否采用简单的按时长、按流量计费或采用传统的 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 LTE 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,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。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考虑的问题。

(4) 安全问题

MEC 平台的引入使得传统的 LTE 无线网络封闭架构被打开,由此引发的 LTE 移动网络安全、本

地网络安全以及信息安全等问题都需要进一步研究,为基于 MEC 的 LTE 本地分流方案部署推广扫清障碍。

5 结束语

针对 LTE 现网政企、校园、部分垂直行业所需的低时延、高带宽的本地连接以及本地业务传输需求,以及对于网络和终端透明部署的运维需求,本文提出了基于 MEC 的 LTE 本地分流技术方案。同时,通过 LTE 主要信令流程的解析,深入分析了该技术方案的可行性。相比于 3GPP 现有本地分流方案 LIPA/SIPTO,基于 MEC 的 LTE 本地分流方案对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(C): 52-68.
- [2] 3GPP. General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access (release 10): TS23.401[S]. 2011.
- [3] 3GPP. Local IP access and selected ip traffic offload (LIPA-SIPTO)(release 10): TR23.829[S]. 2011.
- [4] 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), April 13-15, 2015, Las Vegas, NV, USA. New Jersey: IEEE Press, 2015: 601-605.
- [5] 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(S2): 174-182.
- [6] 3GPP. General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access(release 14): TS23.401 V14.2.0[S]. 2016.
- [7] ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunica-

tions Science, 2016, 32(7): 132-139.

[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学技术进步奖，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。