

边缘路由技术

边缘路由技术的定位是将用户数据流量由局域网汇接至广域网。在传统的移动网络中,边缘路由技术主要用于实现无线接入网同移动核心网的连接,即移动回传功能。随着移动业务的发展及用户需求的多样化,越来越多的业务需要在无线接入网边缘(例如小基站)交付,本地数据分流随之被引入。

本地数据分流需求最初基于家庭基站(HeNodeB)网络提出,其含义是用户的业务流数据直接通过家庭基站进入无线接入网,不必经过移动核心网,从而减轻了核心网络的负荷和传输成本。引入本地数据分流后,移动用户可以通过移动核心网访问公众 Internet 业务,也可以与家庭网络中的其他节点通信,实现本地资源共享,减少本地数据传输时延,提高本地业务体验。

无线接入技术的发展大大提升了移动终端的数据传输速率,伴随着用户数量的不断增加,移动核心网及移动回传线路开始面临巨大的流量压力。无线宏基站因此也开始引入本地数据分流,通过将特定的 IP 业务从无线侧分流出去,实现移动回传及移动核心网资源消耗的降低。基于宏基站的本地分流要求在靠近用户的位置(如市、区等)分布式地部署网关设备,从而允许用户数据从地理或逻辑更近的进行路由。

移动性管理是移动网络必须具备的能力,以保证终端在移动状态下的业务连续性。传统的移动网络提供完整的移动性管理方案,边缘路由技术只需要对相关的控制信令及隧道协议进行路由支持。引入本地数据分流后,移动性管理将变得更为复杂。边缘路由技术必须扩展其现有功能,既支持宏网络中的移动性,也支持小基站和宏网络之间以及小基站间的移动性。

第 1 节 本地数据分流概述

本地数据分流的实现机制主要有 3 类:流量卸载、本地 IP 接入(LIPA)/选择 IP 流量卸载(SIPTO)及分组过滤。

1. 流量卸载

流量卸载的架构中增加了一个新的网元,即流量卸载功能(Traffic Offload Function, TOF)。该网元的部署方式包括单独设置、与 RNC 合设以及与家庭基站网关(HNodeBGW)合设。TOF 提供标准的 Iu-PS 接口到 RNC 和 SGSN,并执行 Gi 接口的部分功能,实现业务流量在本地被分流至 Internet。该方案可在一个 PDN 连接或 PDP 上下文上同时支持分流业务和非分流业务。

TOF 根据运营商的策略,通过 NAT 及分组检测实现本地数据分流。其分流策略可基于多种层次,例如特定用户、APN、业务类型及 IP 地址等。具体的分流策略可通过运营商的运维管理(Operation Administration and Maintenance, OAM)系统进行设置。

在移动性支持方面,流量卸载方案对非分流业务的连续性不会产生任何影响。对于分流业务,当用户只在同一个 TOF 覆盖的区域内移动时,其业务连续性同样能够得到支持,即 TOF 并不支持跨区域(即跨多个 TOF)的用户移动性。

TOF 执行流量卸载的具体过程如下。

① TOF 解析控制平面的信令消息(如 NAS 消息及 RANAP 消息),获取用户信息及 PDP 上下文信息,创建本地分流数据的上下文信息。

② TOF 在 PDP 上下文中被激活后,根据创建的本地分流数据上下文信息确定分流规则。

③ 在数据传输过程中,TOF 对上行数据流进行分组检测。

④ 对于符合分流规则的上行数据,TOF 先通过 GTP-U 解封装操作获取原始业务数据分组,再启动 NAT 将数据进行卸载分流。

⑤ 对于符合分流规则的下行数据,TOF 先对业务数据分组进行反向 NAT,再执行 GTP-U 封装操作,将其送入正确的下行 GTP 隧道。

⑥ 当 TOF 检测到 PDP 上下文中激活信令消息时,则删除对应的本地数据分流上下文信息,并终止相应的流量卸载操作。

⑦ TOF 启动超时定时器跟踪终端同网络之间的数据信令连接,如果连接的静默时间超过定时器门限,则触发 TOF 删除对应的本地数据分流上下文信息,并终止相应的流量卸载操作。

TOF 执行的分组检测功能,依实际情况差异具有不同的复杂性。当分流策略基于应用层信息(例如 HTTP 头信息)时,则需要进行较为复杂的深度分组检测,TOF 必须对每个数据分组的内容进行扫描跟踪。如果分流策略基于 IP 五元组,TOF 只需要对每个数据分组的分组头进行检测即可。当分流策略基于用户信息时,TOF 需要同运营商的用户数据库进行交互,以获得相应信息。

除了流量卸载,TOF 还具备下列功能。

- ① 对分流数据进行计费。
- ② 对分流数据进行合法侦听。
- ③ 对处于空闲状态的终端进行寻呼。

鉴于移动业务主要由终端发起,因此在大部分情况下,TOF 不必执行寻呼功能。

2. LIPA/SIPTO

LIPA/SIPTO 机制由 3GPP TS 23.401 提出,是面向 LTE 网络的设计,该方案使得用户数据可直接进入本地局域网络或者 Internet,而不必经过移动核心网。其核心是在 LTE 网络中增加了新的网元,即本地网关(LGW)。该网元的部署方式包括单独设置、与家庭基站(HeNodeB)合设以及与服务网关(SGW)合设。

LIPA/SIPTO 依赖特定的 PDN 连接实现本地数据分流。终端必须使用专门的 APN 向网络发起 PDN 连接,从而在无线接入网内建立起一条支持本地数据分流的隧道。因此,LIPA/SIPTO 的分流策略较为简单,只是基于特定的 APN 实现本地数据分流。

LIPA/SIPTO 的本地数据分流过程如下。

- ① 终端基于特定 APN 向网络发起 PDN 连接请求。
- ② 网络内的 MME 收到 PDN 连接请求后,根据终端及用户信息,选择一个在地理位置或者逻辑位置上距离终端最近的 LGW 用于建立本地分流通路。
- ③ MME 通知终端所附着的 eNodeB 及选定的 LGW 创建相关的 GTP 隧道上下文,完成分流数据通路的建立。
- ④ 终端将需要分流的数据送入建立起来的分流数据通路。

LIPA/SIPTO 最初主要面向企业网应用,用户可为特定的企业应用申请专用 APN 进行本地分流。随着移动互联网业务的普及,为了简化数据分流至 Internet 的过程,在 LIPA/SIPTO 的基础上,3GPP 又提出了 SIPTO@LN 机制。该机制允许 LGW 直接对用于 Internet 流量传输的 PDN 连接进行本地分流,这样用户不必为进行 Internet 数据分流而使用专用 APN 建立 PDN 连接。

LIPA/SIPTO 不对用户提供终端移动状态下的业务连续性支持。如果终端的 IP 地址在移动过程中由于 LGW 重选发生变化,则会出现业务会话中断的情况。

LIPA/SIPTO 不支持在进行本地分流的 PDN 连接内创建专用承载,因此也就不能为本地分流的业务提供高优先级的 QoS 保证。

运营商通过 HSS 内的用户记录对本地分流功能进行控制。如果某个 APN 被

注明禁止向特定的用户开放本地分流功能,则 MME 不会选择 LGW 为该用户建立 PDN 连接用于本地分流。

3. 分组过滤

分组过滤用于对数据分组进行分析、选择,通过检查数据流中每个数据分组的分组头域(如源 IP 地址、目的 IP 地址、源端口号、目的端口号、协议类型及特定隧道的封装信息等)或它们的组合,来确定某个数据分组是否符合过滤规则,以便对其进行相应的处理。

ETSI 在 MEC 系统内引入此类机制来实现本地分流操作 DI,其定义的过滤规则包括无线接入承载(E-RAB)层面的规则及 IP 分组层面的规则,未来 ETSI 会根据实际需要引入更多的过滤规则。表 3-1 对 ETSI 目前定义的分组过滤策略进行了总结。

表 3-1 ETSI 在 MEC 中定义的分组过滤策略

过 滤 层 面	过 滤 检 测 信 息
无线接入承载	用户文件代码(SPID); QoS 等级标识(QCD); 分配和保留优先级(ARP)
IP 分组	终端 IP 地址; 网络 IP 地址; IP 协议号

不同于传统的分组过滤规则,ETSI 目前定义的部分过滤规则无法直接通过对数据分组的头域进行检测来实现。MEC 系统必须基于特定的上下文信息,才能建立上述过滤规则与数据分组头域之间的映射关系。例如,MEC 系统首先建立下列映射关系,才能在无线接入承载面实现基于 QoS 等级的过滤策略。

QoS 等级标识→无线接入承载 ID→SI-U 接口上的 GTP-U 隧道 ID→目的端口为 2152 的 UDP 分组内的第 5~8 字节。

考虑到与无线接入网相关的分组过滤规则在实际执行时的复杂性,可参考 SDN 技术,引入支持软件定义的分组过滤器来实现本地数据分流。如图 3-1 所示,基于软件定义的分组过滤器可采用类似于 OpenFlow 协议定义的流表,根据 IP 五元组、二层封装信息或者应用层信息等内容及其组合进行数据分组过滤转发。

如图 3-2 所示,本地数据分流可分为下列两种形式。

穿透模式:数据流量先卸载至本地网络,完成处理后,再由本地网络回传至分流功能实体,随后分流功能实体将本地网络回传的数据流量重新传至移动核心网。

终点模式:数据流量先卸载至本地网络,完成处理后,再由本地网络回传至分流功能实体,随后分流功能实体将本地网络回传的数据流量传至无线接入网。

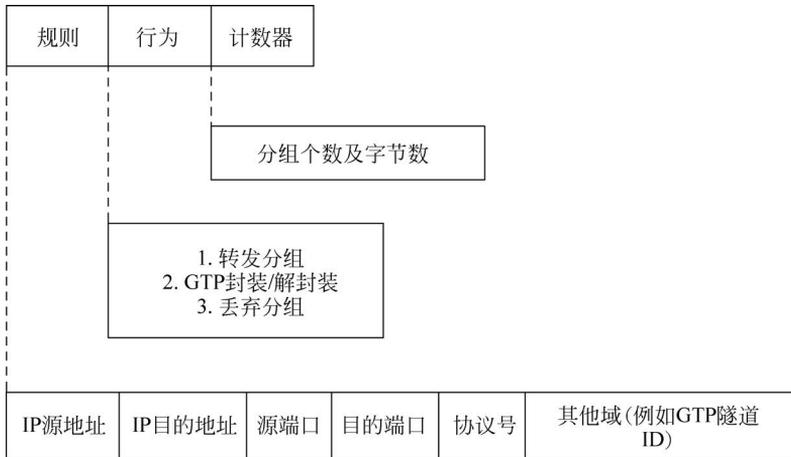


图 3-1 基于软件定义的分组过滤器

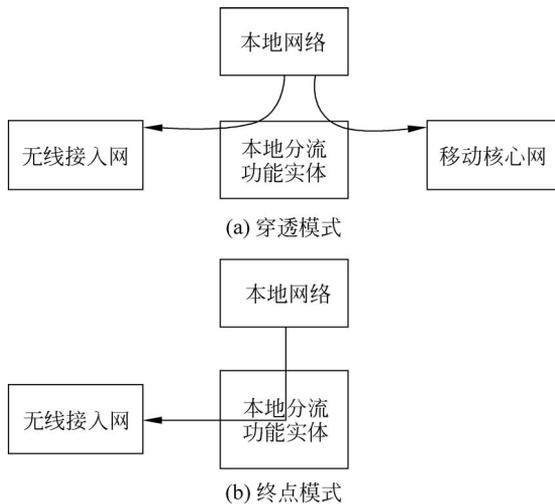


图 3-2 基于数据分组过滤机制的本地数据分流模式

穿透模式实现了业务链向无线接入网的下沉,有助于更多创新业务的生成。例如,通过 TCP 头增强,实现基于无线信息的 TCP 优化。终点模式为传统的本地分流形式,实现方式上类似于流量卸载机制及 LIPA/SIPTO 机制。对于 3GPP 网络来说,基于上述模式的数据量转发必须基于 PDN 连接,以面向承载(Bearer)的方式在 GTP 隧道内进行。

在移动性支持方面,基于分组过滤的本地分流机制可以在不影响现有 PDN 连接的情况下,灵活控制数据转发的方向,但是需要在不同的分流功能实体之间引入新的信令及协调机制,以保证业务会话的连续性。目前 ETSI 并没有为 MEC 系统

设计专门的移动性管理机制,而是继续沿用 LTE 网络内已有的方法,因此其提供的移动性支持方案基本类似于 LIPA/SIPTO。

在 QoS 保障方面,基于分组过滤器的本地分流机制可以在不影响 PDN 连接的情况下,通过特定的转发操作实现对数据转发速率的控制。例如,OpenFlow 流表动作指令集定义的 Meter 指令就可在 SDN 交换机内提供限速支持。但是基于分组过滤的本地分流机制无法控制基站的 QoS 行为(例如调度优先级控制),因此需要考虑是否可能引入新的机制,从而允许分流功能实体对基站实现一定的控制。ETSI 目前没有针对 MEC 定义任何 QoS 保障方面的机制。

第 2 节 移动性支持

边缘路由技术在移动性支持方面面临的挑战主要来自边缘网关位置变化带来的终端公网 IP 地址的变化。在实际网络中,当终端改变接入的边缘网关时,通常导致其公网 IP 地址的变化,这会使正在进行的业务会话中断。对于在线实时消息这样的短时业务来说,业务中断产生的影响可忽略不计;但是对在线视频等长时业务来说,业务中断会严重恶化用户体验。

1. 协调式 SIPTO

协调式 SIPTO(CSIPTO)由 3GPP TR22.828 提出,用以解决 L-GW 变化导致的业务中断问题。其核心思想是引入两个同时工作的 PDN 连接,一个 PDN 连接用于本地分流,另一个按照传统的方式通过移动核心网转发数据,终端根据业务类型决定使用哪个 PDN 连接进行数据传输。

如图 3-3 所示,实线标注了传统的 PDN 连接,虚线标注了支持本地分流的 PDN 连接。当终端需要传输短时业务数据时,选择虚线 PDN 连接;当长时业务产生时,终端选择实线 PDN 连接。

当终端由于移动导致接入点发生变化时,网络会对 LGW 进行重选以确保实现最有效的本地分流。此时,虚线 PDN 连接会被重新建立,终端原有的用于本地分流的公网 IP 地址会发生变化,正在进行的业务会产生中断。对实线 PDN 连接来说,网络只进行 SGW 重选而保持 PGW 不变,因此其公网 IP 地址得以保留。这样,正在实线 PDN 连接上传输的业务不会发生中断。

协调式 SIPTO 在业务中断及传输效率方面进行了折中,一方面保证了短时业务的传输效率,另一方面确保了长时业务在连续性上的用户体验。但是该机制要求终端对具体的业务信息有所了解,这就需要在业务开发者及终端厂商之间引入一定的协调机制。

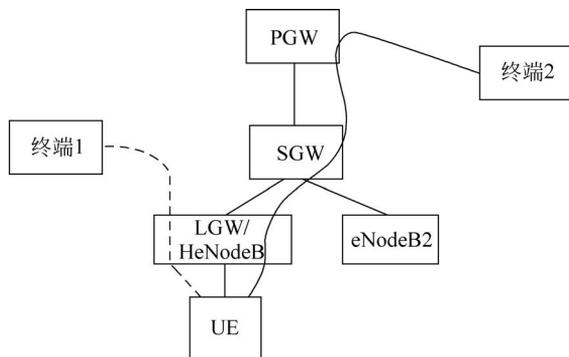


图 3-3 协调式 SIPTO 架构

2. IP 流移动性

IP 流移动性(IP Flow Mobility, IFOM)由 TS 23. 261 在 R10 版本引入,其关注终端在同一个 PDN 连接下的不同 IP 流如何被路由到不同的接入系统,以及在用户进行系统间切换时,如何保证这些 IP 流的连续性和无缝移动性。目前的 IFOM 方案基于 DSMIPv6(即双栈移动 IPv6 协议),能够保留用户的 IP 地址,这使得终端在系统间移动时也可保持 IP 流的连续性。

DSMIPv6 由 IETF 提出,对移动 IPv6 协议的特性进行了扩展,加入了对 IPv4 网络的支持。允许移动节点请求其家乡代理将发往其家乡地址的 IPv4 或 IPv6 数据分组通过隧道转发至 IPv4 或 IPv6 转交地址上,从而实现了移动节点在 IPv4 和 IPv6 网络之间移动时的通信的连续性。

IFOM 允许终端以同一个 PDN 连接接入多个网关,并使用 DSMIPv6 协议向不同的网关分流数据。通过使用 DSMIPv6 的 IP 地址处理机制,终端无须了解不同的网络路径即可保持会话。

IFOM 对 DSMIPv6 的信令进行了扩展,以携带路由过滤器信息。如果 UE 在不同的系统上配置了不同的 IP 地址,则可通过多个绑定消息在家乡代理上分别将这些地址注册为 CoA。此外,为了将 IP 流路由到特定的接入,UE 需要在绑定的更新消息中包含流标识(Flow Identification, FID)参数。

FID 定义了路由规则,包含路由过滤器及路由地址。利用这些信息,系统可区分来自不同网关的业务数据。当终端产生移动时,会通过绑定更新消息更新路由信息;移动核心网收到路由更新信息后,会进行相应的承载释放或者创建,从而实现 IP 流的无缝切换。

IFOM 在传统 LTE 网络的基础上引入了 DSMIPv6 协议,这就要求终端及网络设备进行相应的升级,尤其是引入对移动 IP 协议的支持。因此,IFOM 在移动

性支持上除了会产生移动网络中的切换信令,还会在 IP 层产生额外的信令开销。

3. 分布式移动性管理

针对网络架构扁平化的趋势,IETF 成立了分布式移动性管理(Distributed Mobility Management,DMM)工作组研究分布式移动性管理机制。与传统的集中式移动性管理相比,分布式移动性管理主要包括以下特征。

① 移动性管理可基于网络,也可基于终端。会话标识符和转发地址之间存在映射关系,通常终端在移动之前的初始 IP 地址作为会话标识符。

② 移动性管理支持主要依据会话标识符与终端移动后的转发地址之间的映射关系,通过选路完成。

③ 移动性相关的控制平面以混合方式实现。部分功能以分布式方式在移动锚点处实现,用户管理、用户数据库以及网络接入认证鉴权等功能以集中方式实现。

④ 分布于网络边缘的移动锚点同时具备数据平面和控制平面,其数据平面完成数据转发,控制平面处理与映射及选路相关的控制信令。

如图 3-4 所示,在 DMM 架构中,数据平面分布在无线接入网及移动核心网内部,负责移动性管理的控制平面作为移动锚点分布在无线接入网边缘,在移动核心网内,则作为移动管理中心集中部署。DMM 架构的移动性支持功能包括位置信息管理和数据转发。其中,位置信息管理属于控制平面功能,数据转发又分为数据平面的数据转发及控制平面的消息转发,对数据平面转发功能的管理由控制平面在无线接入网及移动核心网协同控制。

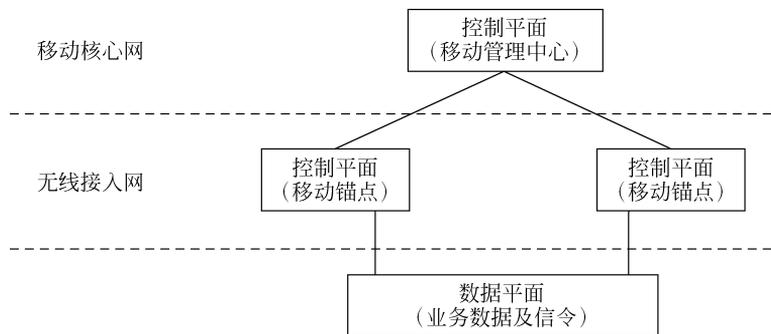


图 3-4 DMM 架构

DMM 架构十分适合采用基于 SDN 的实现方式,SDN 交换机灵活的数据转发路径设置功能能够在数据平面上实现更高效快捷的路由。控制平面仅需通过更新 SDN 交换机的流表即可完成数据平面的路由优化。SDN 交换机也可支持控制平面信令消息的转发。

SDN 基于流表的分组处理方式能够快速适应网络变化。当终端改变网络接入点时,控制平面通过 SDN 交换机传输移动性方面的信令,或者通过 SDN 控制器感知到终端位置的变化。根据移动性管理策略完成转发规则的计算后,控制平面将转发规则以流表的形式下发至 SDN 交换机。当用户会话结束时,控制平面根据相关信令,将 SDN 交换机内的相关流表删除,从而在数据平面终止相应的转发规则。这种方式结合 NAT 功能可以在不改变移动终端公网 IP 地址的情况下,实现应用层会话的连续性。

基于 SDN 的 DMM 架构还有若干问题需要解决,例如移动终端的位置变化事件如何被控制平面快速感知、移动锚点间的转发路径如何快速建立等。