



基于 SDN 的移动性管理机制探讨

赵明宇, 严学强

(上海贝尔股份有限公司 上海 201206)

摘要: 移动性管理是移动通信中一个非常重要的关键技术。在充分研究现有移动性管理技术和 SDN 创新架构的基础上, 提出了一个基于 SDN 的移动性管理机制探讨方案, 给出了架构示意图, 详细分析了切换过程中的信令流程。本方案无需建立隧道, 能有效解决现有移动性管理方案中 GTP 开销大、信令增多、不支持无缝切换及路由效率低下等问题, 符合未来网络架构发展的趋势。

关键词: 移动性管理; 软件定义网络; 无隧道

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015110

Exploration of SDN-Based Mobility Management Mechanism

Zhao Mingyu, Yan Xueqiang

(Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Mobility management is a key technology in the mobile communication network. On the basis of analyzing the current mobility management technologies and researching SDN, an SDN-based mobility management mechanism without tunnel was presented, which was applicable to solve the existing issues such as GTP overheads, increasing signal, non-seamless handover, and low routing efficient, and was in line with the future network trend as well. The architecture of this proposal was depicted, and the signal procedure was minutely dissected.

Key words: mobility management, software-defined networking, non-tunneling

1 引言

现有的移动性管理技术方案主要为 3GPP 的 GTP (GPRS tunneling protocol, 通用分组无线服务技术隧道协议)+MME(mobility management entity, 移动性管理实体)、3GPP2 的 MIP (mobile IP, 移动 IP) 技术以及 LISP (location-ID separation protocol, 名址分离网络协议)等, 这些技术仅支持特定条件下的移动性管理。而未来 5G 要求

移动性管理技术要满足新型网络架构控制转发分离、控制集中化、更加扁平化的趋势, 同时要满足对热点高容量覆盖等场景的需求^[1]。

SDN (software-defined networking, 软件定义网络)作为一种创新网络架构, 具有以下显著特点: 控制与转发分离; 控制集中化; 使用广泛定义的软件接口^[2]。

其核心是通过将网络设备控制面与数据面分离, 只在网络硬件设备的底层保留转发功能, 上层则可进行集中的

收稿日期: 2015-01-28; 修回日期: 2015-04-16

基金项目: 上海市博士后科研资助计划基金资助项目 (No.14R21420500)

Foundation Item: The Shanghai Postdoctoral Sustentation Fund (No.14R21420500)

论文引用格式: 赵明宇, 严学强. 基于 SDN 的移动性管理机制探讨. 电信科学, 2015110

Zhao M Y, Yan X Q. Exploration of SDN-based mobility management mechanism. Telecommunications Science, 2015110

控制功能,进而将网络的应用和功能都可编程化,即所谓的软件定义。SDN的这些突出特点,可以用来有效地定义未来的网络,使得SDN在互联网和通信领域的应用前景被广泛看好。SDN技术在未来5G移动网络中的使用,必将使得移动网络的基本功能实现更加合理和高效,也使得网络的纵向融合成为可能,从而进一步简化网络并适应不断增长的接入速率。

2 现有的移动性管理技术

GTP是2G/3G和LTE/EPC(long time evolution/evolved packet core,长期演进/演进型分组核心网)的核心协议,它由GTP-C(GTP-control,GTP控制面)协议和GTP-U(GTP-user,GTP用户面)协议组成。在LTE网络,GTP(更确切地说是GTP-U协议)是基于移动回程网传输用户数据。在基站和MME之间的GTP-C协议的控制下,首先在基站和核心网网元,如SGW(serving gateway,服务网关)、PGW(packet data network gateway,分组数据网关)等之间建立隧道,然后将用户数据封装在隧道里进行传输,而GTP-C协议负责建立、删除及修改这些隧道^[3,4]。

虽然GTP协议已经成功地在2G/3G及LTE/EPC中部署,但现有网络中基于GTP的移动性管理架构的缺点也是显而易见的,如下所述。

- 在用户面,引入GTP头的开销增大。对一个典型的网络及流量模型来说,如一个分组平均大小为200~250 byte,对于IPv4和IPv6,GTP头分别占18%~14%和28%~22%。随着机器类通信和VoLTE(voice over LTE,基于LTE的语言)逐渐增多,同时分组大小逐渐变小,GTP头的额外开销将会越来越大。
- 在控制面,当UE(user equipment,用户终端)移动时,需要大量的信令来维持GTP隧道,尤其是随着小区越来越小,切换发生更频繁;再者,高密集的小蜂窝产生的大量控制信令会导致网络拥堵。
- 当前的移动性管理机制是与无线接入技术耦合的,如在3GPP技术中使用GTP,而在3GPP2中使用MIP技术。由于不同的接入技术采用不同的移动性管理协议,因此,现有的网络并不支持多种接入技术间的无缝切换。
- 当前的移动性管理机制在用户面使用固定锚点,如在LTE/EPC中,当用户在同一SGW下的基站间或跨SGW下的基站间移动时,SGW和PGW就作为

移动性管理的锚点。SGW/PGW作为用户面的汇聚实体处理所有往来互联网或同一蜂窝网下不同用户间的流量,很显然,对于后一种情况,由于要迁回到锚点,会导致路由和回程网的利用效率低下。

产业界目前正在研究将SDN和NFV(network functions virtualization,网络功能虚拟化)技术引入电信领域^[5,6]。SDN和NFV正在成为下一代网络架构的使能技术。因此,这里提出基于SDN的无隧道的更高效的移动性管理技术方案来解决上述问题,同时此方案也符合5G无线网络的演进趋势。

3 基于SDN架构的移动性管理机制探讨

3.1 基于SDN的移动性管理架构

基于SDN的移动性管理技术方案架构如图1所示。基于控制与转发分离的架构,控制集中化以获取全局网络拓扑;无GTP隧道,与接入技术无关,易于实现不同接入技术间的无缝切换;无固定锚点,从而可优化路由。

由图1可知,架构分为控制面和转发面两部分。在控制面,所有的控制功能全部作为SDN控制器的应用,一些典型的网络功能应用如MM(mobility management,移动性管理)、SM(subscriber management,用户属性管理)、PM(policy management,策略管理)、DPI(deep packet inspection,深度分组检测)、FW(firewall,防火墙)等。MM/SM/PM等通过北向API与SDN控制器进行通信,所有的网络功能由虚拟化软件实现。转发面主要由交换机和BS(基站)组成。交换机由通用的转发硬件实现,基站可以看作带无线功能的交换机,全部由控制器进行控制。转发面通过南向接口基于安全通道与控制器进行通信。南向接口为公共的标准接口,支持如OpenFlow等标准南向接口协议。

MM应用负责切换处理。当一个用户(这里命名为UE₀)从一个初始基站移动到下一个目标基站时,UE₀触发切换请求,由初始基站通过安全通道送达MM。这个切换请求信息携带有初始基站ID和目标基站ID。一旦接收到请求信息,MM就基于SDN控制器中的全局拓扑,为UE₀所应用的服务与目标基站之间计算一条新的转发路由,这条路由上的所有交换机和基站的路由表将会被更新,之后将根据这些新的路由表来转发UE₀接收或发送的数据流。

切换过程中,在初始的路由路径中,可能会有一些数据分组还未被转发,但根据初始的转发路由表,这些数据分组最终都将到达初始基站。因此,为了重新定向这些数据分组到目标基站,MM需要额外计算一条从初始基站到目标基



站的路由,并更新此路径上相应交换机及基站的路由表。

3.2 切换过程中的信号流程

基于SDN的网络架构及移动性管理技术方案,假定的一个典型的切换场景如图1中所示,从移动性管理的视角出发,只关心UE的移动性,而假设应用服务端并不移动。当切换发生时,由于UE所附着的基站改变,从而导致下行数据路径也要做相应的改变。UE必须通过初始基站告知MM。而对上行链路,即使UE所附着的基站改变,按照转发流表的规则,这些数据分组也能被正常转发到应用服务器。

以下为对下行链路切换过程的详细描述。

切换流程分为3部分来说明:切换前、切换过程中和切换后。在切换前,当UE₀附着在初始基站BS1时,假定初始的转发路径已经被计算好并下发了路由表。这里命名这条路径为“路径1”,此条路径上所有的交换机和基站被命名为“组1”。切换后的新的转发路由命名为“路径2”,所对应的交换机和基站为“组2”。

为了确保在切换过程中,所有的还未到达UE₀的数据分组能够被重定向到目标基站BS2,计算一条从BS1到BS2的路由,命名为“路径3”,相应的交换机和基站为“组3”。表1概括了这些转发路由及实体(表中SW为交换机的缩写)。

3.2.1 切换前

从图1中可以看到,在切换前,所有的数据分组沿着路径1经由BS1到达UE₀。组1里各实体中的转发表

表1 转发实体及转发路由信息

转发实体	转发路由
组1: SW6, SW5, SW2, SW1, BS1	路径1: SW6→SW5→SW2→SW1→BS1
组2: SW6, SW5, SW4, BS2	路径2: SW6→SW5→SW4→BS2
组3: BS1, SW1, SW4, BS2	路径3: BS1→SW1→SW4→BS2

发现规则如下(这里,IP_{UE}代表UE₀的IP地址,目的IP地址(IP_{Dst})是交换机流表中头域里的元组之一,用来与到来的数据分组中的IP目的地址进行匹配对比):

- SW6: 如果(IP_{Dst}==IP_{UE}),则将分组从端口1送出;
- SW5: 如果(IP_{Dst}==IP_{UE}),则将分组从端口1送出;
- SW2: 如果(IP_{Dst}==IP_{UE}),则将分组从端口1送出;
- SW1: 如果(IP_{Dst}==IP_{UE}),则将分组从端口1送出;
- BS1: 如果(IP_{Dst}==IP_{UE}),则将分组转给UE₀。

3.2.2 切换过程中

切换过程中的信号流程如图2所示。控制面信令由虚线表示,转发面链路由实线表示。

(1)初始基站BS1发出“测量”命令给UE₀,设置测量的参数及这些参数的门限。目的是一旦达到门限值,UE₀就发送测量报告给BS1。

(2)UE₀测量其周围可达基站的信号,将包含这些信号值的“测量报告”发送给BS1,同时,BS1也测量信号强度和上行信道的质量。

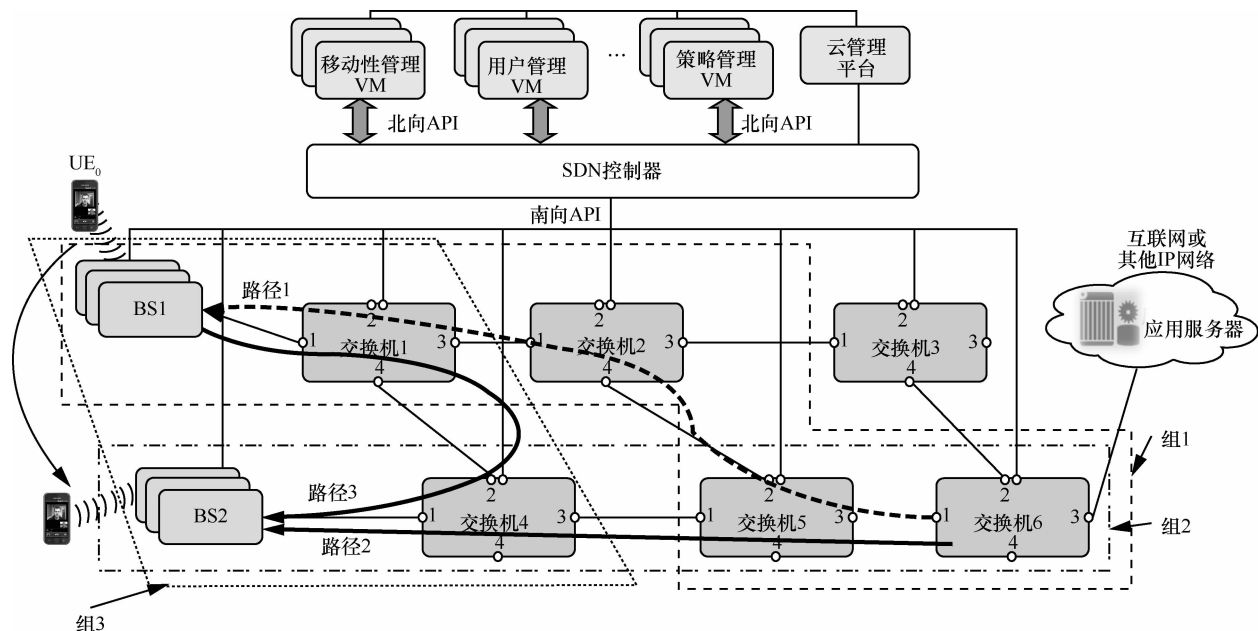


图1 基于SDN的移动性管理架构

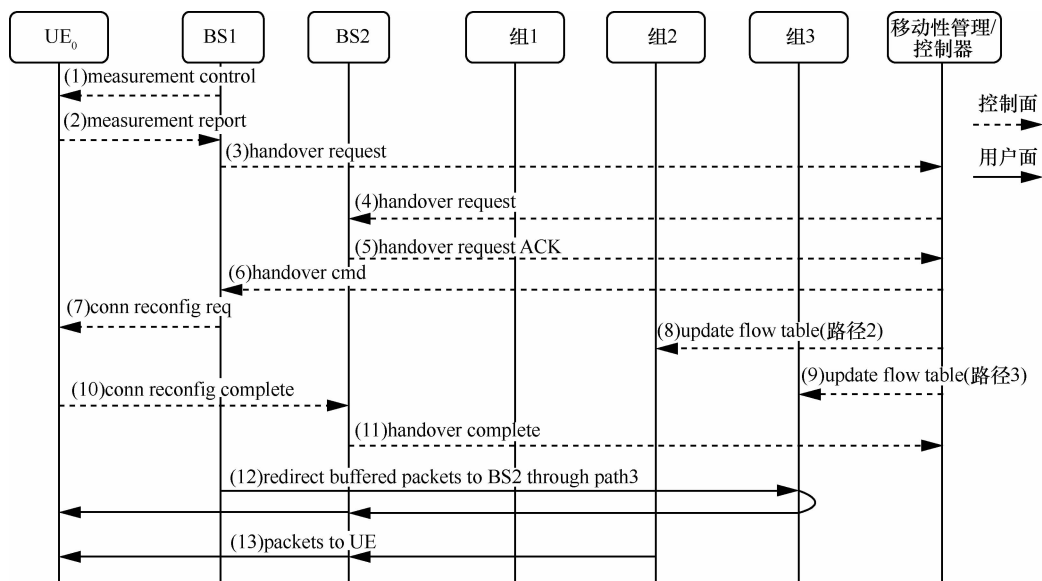


图 2 切换过程中的信号流程

(3)对比这些测量值之后,假如 BS1 决定发生切换,则 BS1 发送一个“切换请求”信息给 MM。这个“切换请求”信息包含有 UE₀ 的身份、BS1 和 BS2 的 ID 等。

(4)MM 询问 BS2 是否为 UE₀ 的接入做好了准备。

(5)如果 BS2 已经准备好了,则它将回复“切换请求确认”信息给 MM。

(6)MM 发送一个“切换命令”给 BS1,开始切换。

(7)BS1 发送一个“连接重配置请求”信息给 UE₀,用来命令 UE₀ 连接到 BS2。

(8)MM 计算一个新的路径来转发从应用服务器到 UE₀ 的数据流,即如图 5 中所示的“路径 2”,之后,SDN 控制器更新组 2 中各实体的流表。

流表中的各转发规则如下:

- SW6: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组从端口 1 送出;
- SW5: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组从端口 1 送出;
- SW4: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组从端口 1 送出;
- BS2: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组送给 UE₀。

(9)同时,MM 计算另一条路径(路径 3)从 BS1 到 BS2。路径 3 将重定向那些缓存在 BS1 中的数据分组到 BS2 中。则 SDN 控制器更新组 3 中各实体的流表,具体规则如下:

- BS1: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组送给 SW1;
- SW1: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组从端口 4 送出;
- SW4: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组从端口 1 送出;
- BS2: 如果($IP_{Ds} == IP_{UE}$),则将分组送给 UE₀。

在切换过程中,在组 1 的转发实体中可能会有有一些分

组未被转发。本例中,可能会有数据分组缓存在 SW5 和 SW6 中。由于 SW5 和 SW6 也同时属于组 2,根据组 2 的转发规则,这些分组最终也能够到达 UE₀。也有可能有一些为转发的数据分组缓存在不属于组 2 的实体中,如本例中的 SW1 和 SW2,根据组 1 的转发规则,这些分组将最终到达 BS1。

(10)只要 UE₀ 一收到“连接重配置请求”,它就转向连接 BS2 的信道。一旦转到新的信道,就发送“连接重配置完成”信息给 BS2。

(11)一旦接收到“连接重配置完成”信息,BS2 就发送“切换完成”信息给 MM。

(12)BS1 通过路径 3,重定向那些缓存的数据分组到 BS2。

3.2.3 切换后

根据组 2 中的转发规则,所有的数据流都将沿路径 2,最终经 BS2 到达 UE₀。

3.3 所提方案的优点

与现有方案及其他的一些如参考文献[7]中所述的移动性管理方案相比,本方案具有如下优点。

- 控制面和用户面分离。符合网络演进趋势,能带来众多好处,比如控制面和用户面可以分别扩展和升级。而参考文献[7]中所提出的方法是在网络边缘交换机中,控制面和用户面混合的方法,这将会带来扩展性问题。
- SDN 架构在用户面采用通用的转发设备,能有效降低成本,而参考文献[7]必须使用专用的网络设备(如网络边缘交换机)来运行基于 DHT(distributed Hash table,分布式散列表)的 Trill 协议,还要完成



用户 IP 地址和基站 MAC 地址间的映射。

- 移动性管理实体作为一个应用集中部署在 SDN 控制器之上,对于更新或升级带来极大的灵活性。而参考文献[7]部署移动性管理实体(如网络边缘交换机),且与用户面混合,非常不利于移动性管理技术的更新或升级。
- 所有的移动性管理的控制和决策都作为 SDN 的一个应用部署在一个虚拟环境中,将有效降低单点失效的风险。而参考文献[7]中的网络边缘交换机作为锚点,要处理所有流向用户的流量。
- 网络资源如回程等可以根据流量情况动态适配。而参考文献[7]中的专用设备较难实现。

4 对现有网络的影响及后续工作

SDN 和 NFV 正不断对无线和移动通信技术产生重大影响,对未来网络的研究带来冲击。本文提出的基于 SDN 的无隧道的移动性管理技术方案,可以解决现有方案存在的一些问题,比如减少 GTP 隧道的信令状态信息、减少分组头开销等,对现有网络将产生较大的影响。例如,现有网络中的如 SGW、PGW 等私有设备,需要进行软硬件的解耦,控制与转发的分离;在数据中心增加控制器;对现有网络的功能进行分解、抽象、重构,并形成如 MM 等应用程序部署在控制器之上等。

该方案还需要在接口标准化方面做进一步的工作,南向接口已经有 OpenFlow 等协议,但目前的 OpenFlow 协议还需要进一步的扩展,才能达到基于 SDN 的移动通信网络的最终应用效果。对北向接口,目前并没有比较统一的接口,而应用程序,尤其是本方案中的 MM,需要通过北向接口经 SDN 控制器来调度和配置网络资源,如切换管理、跟踪及寻呼等功能,对时延也有严格的要求,因此定义一个良好的北向接口,对成功完成信令交互,提高用户体验,至关重要。

后续将继续研究基于集中式管理、分布式执行的策略管理功能,以及利用如 OpenFlow 协议的计数器在边缘网络节点进行统计以实现计费功能等;同时正在搭建基于 SDN 的未来移动通信网络测试环境,将会对移动性管理、策略管理、计费等功能进行测试验证。

5 结束语

本文提出的移动性管理机制的探讨方案,基于控制与转发分离、控制集中化、可软件定义的 SDN 架构,MM 作为

应用程序和 SDN 控制器来负责切换处理。SDN 控制器获取全局网络拓扑,不需要建立隧道,由 MM 来计算切换后的应用服务与目标基站之间的转发路由,并下发更新路由表,根据这些新的路由表来转发数据。而将在切换过程中缓存在初始路径上的数据分组,计算一条从初始基站到目标基站的路由,重新定向这些数据分组到目标基站。

本方案充分利用 SDN 架构的优点,使得无需建立额外的隧道便可方便高效地实现移动性管理。在解决现有移动性管理技术众多问题的同时,也能够满足未来 5G 网络架构发展的需要。

参考文献

- 1 IMT-2020(5G)推进组. 5G 愿景与需求白皮书,2014
IMT-2020 (5G) Promotion Group. 5G Vision and Requirements. White Paper, 2014
- 2 ONF. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. White Paper, 2012
- 3 3GPP TS 23.401. GPRS Enhancements for E-UTRAN Access (Release 12), V12.4.0, Mar 2014
- 4 3GPP TS 23.402. Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses (Release 12), V12.2.0, Sep 2013
- 5 Li E L, Mao Z M, Rexford J. Toward software-defined cellular networks. Proceedings of European Workshop on Software Defined Networking, Darmstadt, Germany, 2012
- 6 Clougherty M M, White C A, Viswanathan H 等. SDN 在 IP 网络演进中的作用. 电信科学, 2014,30(5):1~13
Clougherty M M, White C A, Viswanathan H, *et al.* Role of SDN in IP network evolution. Telecommunications Science, 2014,30(5): 1~13
- 7 Varis N, Manner J, Heinonen J. A layer-2 approach for mobility and transport in the mobile backhaul. Proceedings of the 11th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), St. Petersburg, Russia, 2011

[作者简介]



赵明宇,男,博士,现就职于上海贝尔股份有限公司,主要研究方向为 SDN、NFV、5G 新型网络架构、无线光通信等。

严学强,男,博士,上海贝尔股份有限公司战略部总监,主要研究方向为无线通信新技术、5G、网络融合等。