

文章编号: 2096-1618(2019)06-0573-05

# 用于 LTE 移动回传 PTN 的 L3 功能方案

孙捷, 杨欢

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**介绍 PTN 网络用于 LTE 移动回传时 L3 功能的必要性。详细说明 PTN+CE、L3VPN、IPC 这 3 种 L3 功能实现方案,分析 3 种方案中包的格式、包转发和处理流程,比较这 3 种方案的优缺点及适用范围。此外,还给出 L3VPN 和 IPC 的互通方式。

**关键词:**分组传送网;三层虚拟专网;静态 IP 路由;移动回传;虚拟路由转发

**中图分类号:**TN913.7

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.06.002

## 1 LTE 移动回传 PTN 网络中 L3 功能的必要性

LTE 作为移动回传网络,主要是实现基站演进型 Node B(evolved node B,eNB)和接入网关(access gateway,aGW)/移动管理实体(mobile management entities,MME)相互之间的信息传输<sup>[1]</sup>。目前常见的移动回传方式为包传送网(packet transport network,PTN)和基于 IP 的无线接入网(internet protocol-radio access network,IP-RAN)。其中 CMCC 等国内运营商主要采用 PTN 网络。LTE 采用全 IP 化的扁平网络结构,取消了无线网络控制器(radio network controller,RNC)。服务网关(service gateway,S-GW)和分组数据网网关(packet data network gateway,P-GW)可以由 aGW/MME 统一实现,aGW 和 MME 可以是一个设备或不同设备。基站 eNB 通过 S1 逻辑接口(分承载用户数据的 S1-U 和承载信令的 S1-C)和 aGW/MME 相连,相邻 eNB 之间通过 X2 逻辑接口相连(也分为 X2-C,X2-U),一个 eNB 可以和多达五个的其它 eNB 通过 X2 接口交互<sup>[2]</sup>。为了提高核心网的负荷分担和保护冗余能力,eNB 支持 S1-flex 接口与多个 aGW/MME 互连<sup>[3]</sup>。即在 LTE 回传网络中,eNB 之间及 eNB 和 aGW/MME 都是多点到多点的 mesh 连接。

在实际的承载需求中,LTE 对 PTN 移动回传网络的要求越来越高。对于 eNB 和 aGW/MME 之间的 S1 业务接口和 eNB 之间的 X2 接口业务,都是基于 IP 地址进行标示和划分的,这种方式比基于多协议标签交换(multi-protocol label switching,MPLS)/MAC 地址的包转发更灵活和更有优势。此外,目前大部分 PTN 设

备使用的是 2.5 层的 MPLS 标签进行包转发处理<sup>[4]</sup>,因此需要将 IP 路由转发功能引入到 LTE 移动回传 PTN 传输网络中,这样也能解决因 eNB 和 aGW/MME 间的多归属关系以及相邻基站间的 X2 连接导致的连接数快速增长的问题<sup>[5]</sup>。这也就是说在 PTN 网络中引入 L3 功能是非常必要的,它能有效地降低移动回传的组网复杂度和组网成本。

针对 S1 接口和 X2 接口的承载需求,都需要 L3 功能来解决。但 L3 功能部署在哪层合适?一般考虑部署在核心调度层,即核心 PTN 节点。其目的是把 L3 路由域控制在一个较小的范围,这将有利于传输网络的运营维护,能大幅度降低运维成本。另外由于 X2 接口带宽只有 S1 接口带宽的 3%~5%,因而可以充分利用核心 PTN 节点的 IP 转发能力,以支撑 X2 和 S1 来共享 PTN 的隧道(Tunnel,TU)/伪线(Pseudo Wire,PW)管道<sup>[6]</sup>。

## 2 PTN 网络中 L3 功能的 3 种实现方案

当前 LTE 移动回传 PTN 网络实现三层 L3 功能的主流方式主要有两种:PTN+CE 和 L3PTN。PTN+CE 方式是在核心 PTN 节点外挂一个独立的用户边缘(customer edge,CE)路由器,L3PTN 是直接核心 PTN 节点上实现有限的 L3 功能<sup>[7]</sup>。按具体实现技术,L3PTN 又可分为 L3VPN 和 IPC 两种方案。下面分别介绍 PTN+CE,L3VPN,IPC 3 种技术的实现方式。

### 2.1 PTN+CE 实现 L3 方案

在 PTN+CE 方式中,LTE 回传网络的接入层和汇聚层和现有 PTN 一样,用 TU/PW 隧道方式,为 X2 接口和 S1 接口业务提供 EVPL 专线业务<sup>[8]</sup>。在核心

PTN 节点外挂一个独立的边缘 CE 路由器,由 CE 路由器实现 L3 功能。

PTN+CE 承载方案原理如图 1 所示,eNB 的 X1 和 S2 业务包都通过接入 PTN 节点和核心 PTN 节点之间的以太网虚拟专线业务(ethernet virtual private line, EVPL)TU/PW 隧道传到核心 PTN 节点,核心 PTN 节点终结 TU/PW 隧道,将包传给本节点挂接的 CE 路由器<sup>[9]</sup>。CE 路由器根据收到包的目的 IP 地址,将 X2 接口信息转发相邻基站,将 S1 接口信息转发给本地或远端 aGW/MME<sup>[10]</sup>。

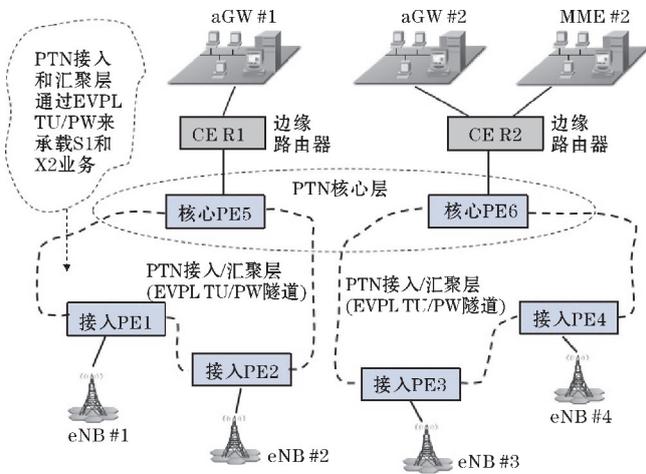


图1 PTN+CE 承载方式

PTN+CE 方案中 CE 路由器有 4 种转发路径:

(1) 如果目的 IP 是本地 S-GM/MME,CE 路由器直接转发到 aGW/MME,如图 1 中路径 eNB#1→接入 PE1→(TU/PW 隧道)→核心 PE5→CE R1→aGW/MME#1。

(2) 如果目的 IP 是 LTE aGW/MME pool 中远端 aGW/MME,CE 路由器将包转发回本地核心 PTN 节点,通过本地和远端核心 PTN 节点之间的 EVPL TU/PW 隧道传到远端核心 PTN 节点,远端核心 PTN 节点再把包传给远端 CE 路由器,转发到远端 aGW/MME。如图 1 中路径 eNB#1→接入 PE1→(TU/PW 隧道)→核心 PE5→CE R1→核心 PE5→(TU/PW 隧道)→核心 PE6→CE R2→aGW/MME#2。

(3) 如果目的 IP 是本地 eNB,CE 路由器将包转发回本地核心 PTN 节点,通过本地核心 PTN 节点和接入 PTN 节点之间的 EVPL TU/PW 隧道传到本地接入 PTN 节点,接入 PTN 节点终结 TU/PW 隧道后再传给本地 eNB。如图 1 中路径 eNB#1→接入 PE1→(TU/PW 隧道)→核心 PE5→CE R1→核心 PE5→(TU/PW 隧道)→接入 PE2→eNB#2。

(4) 如果目的 IP 是远端 eNB,CE 路由器将包转发回本地核心 PTN 节点,通过本地和远端核心 PTN 节点

之间的 EVPL TU/PW 隧道传到远端核心 PTN 节点,远端核心 PTN 节点再把包传给远端 CE 路由器。远端 CE 路由器将包转发回核心 PTN 节点,通过远端核心 PTN 节点和接入 PTN 节点之间的 EVPL TU/PW 隧道传到远端接入 PTN 节点,再传给远端 eNB。如图 1 中路径 eNB#1→接入 PE1→(TU/PW 隧道)→核心 PE5→CE R1→核心 PE5→(TU/PW 隧道)→核心 PE6→CE R2→核心 PE6→(TU/PW 隧道)→接入 PE3→eNB#3。

## 2.2 L3VPN 实现方案

L3VPN(三层虚拟专网)是 VPN 解决方案中一种基于 IP 的 VPN 技术,在三层网络环境中搭建 VPN 业务。每个用户在使用时,不同的接入点就如同连在一个虚拟的专用路由器上,做到了不同接入点的用户能够路由互联。

为了使 PTN 设备支持 L3VPN,必须对核心 PTN 节点进行新的改进。由于核心 PTN 节点在连接上比较固定,简单起见,核心 PTN 节点采用静态 L3VPN 方式,用户可以人工对所有 IP 路由进行设置。核心 PTN 网络节点的 L3 功能完成 L2 到 L3 虚拟路由转发的桥接功能,通过识别 IP 报文实现路由转发功能。

核心 PTN 节点实现 L3VPN 方案需要支持的功能:

每个核心 PTN 设备必须支持虚拟路由转发(virtual route forwarding: VRF)实例 VRF1。VRF 是 L3VPN 的一个基本组件,在一个 L3VPN 的 PE 上,通过 VRF 来区分和隔离不同用户所属的 VPN。一个 VRF 对应一个用户的路由转发实例,每个 VRF 具有自己逻辑独立的路由表和转发表<sup>[11]</sup>。IP 包基于 VRF 进行转发。

PTN 的接入层和汇聚层将通过端到端的 TU/PW 封装,采用以太网虚拟专线将 S1、X2 业务传送到核心层的 PTN 节点,并在 VRF 的 VLAN 子接口终结 EVPL 专线,然后根据静态 IP 路由转发 IP 包。VLAN 子接口的 IP 地址要和其终结的 EVPL 专线连接的基站地址在一个网段。

核心 PTN 节点要支持双节点保护,ARP 协议和 DHCP 中继(DHCP Relay)功能<sup>[12]</sup>。

IP 路由表的静态路由包括 4 种:本地 eNB 到本地 aGW/MME 的路由;本地 eNB 到本地 eNB 的路由;本地 eNB 到远端 aGW/MME 的路由;本地 eNB 到远端 eNB 的路由。

### 2.2.1 L3VPN 网络中包的封装格式和转发过程

在 L3VPN 方案中,包封装主要包括接入汇聚层的 TU/PW 封装和核心层的 L3VPN 封装两部分,L3VPN 网络及包封装格式如图 2 所示。

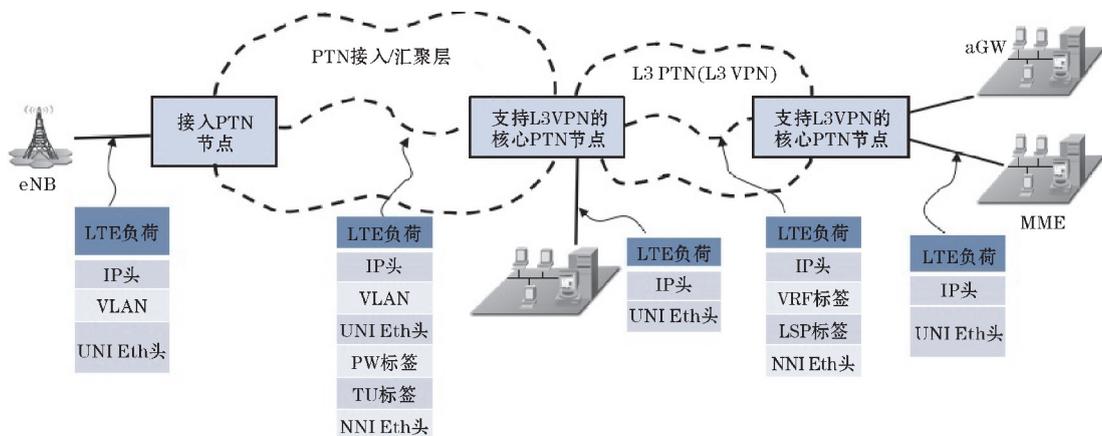


图2 L3VPN 方案及封装格式

具体的包转发过程如下:

(1)接入层与汇聚层的 PTN 节点创建了 EVPL 专线业务后,再连接至具备 L3VPN 功能的核心 PTN 节点,其标准的 TU/PW 封装为:网络侧接口(network networks interface, NNI) Eth 包头+标记交换路径(label switching path, LSP) TU 标签+伪线 PW 标签+用户侧网络接口(user networks interface, UNI) Eth 包头和虚拟局域网(virtual local area network, VLAN)+IP 报文。

(2)EVPL 业务将会终结在核心 PTN L3VPN 节点上<sup>[13]</sup>。在依次剥离掉 NNI Eth 头、TU 标签、PW 标签、UNI Eth 头和 VLAN 后,将会得到 IP 包。再去查寻路由表,由目的 IP 地址决定包转发。当查找到的目的 IP 地址属于本地 eNodeB, IP 包将再次添加 VLAN、UNI Eth 包头、PW 标签、TU 标签、NNI Eth 头,因而再次封装成标准的 PTN 包并映射至本地 PW 管道。

(3)假设目的 IP 地址属于本地 aGW/MME, IP 包则可直接转发至本地物理接口。其封装格式中只需添加 UNI Eth 头即可。

(4)假设目的地址是远端 eNodeB 或远端 aGW/MME,此时的 IP 包将会加上 VRF 标签、LSP TU 标签、NNI Eth 头并转发至远端的核心 PTN 节点。

(5)远端核心 PTN 节点收到 L3VPN 包后,删除 NNI 以太包头、TU 标签和 VRF 标签,得到 IP 包。然后依然根据目的 IP 地址转发包,过程类同前面(2)、(3)、(4)所述。

### 2.2.2 L3VPN 网络的保护和 DHCP 中继

L3PTN 节点故障可以使用 PTN 线性保护或环保护。此外,还可考虑在两个支持 L3VPN 的核心 PTN 节点之间应用基于 VRRP 的双节点主备网关保护。VRRP 协议用于双归属组网时,网关节点故障时的保护。应遵循 VRRP 版本 2。

L3VPN 支持 DHCP 中继功能,即在 eNodeB 和远端 DHCP 服务器之间转发 DHCP 包。主要过程是在 DHCP 包上加上 option82(包括本地的接入指示符和设备指示符),并转发给 DHCP 服务器;同时,接收 DHCP 服务器的响应包,删除 option82 并转发给 eNodeB。

### 2.3 静态 IP 路由(IPC)方案

静态 IP 路由(IPC)是一种基于 IP 地址流分类的方案。传统 PTN 设备是基于 L2 域进行流分类的,比如基于 MAC 地址(目的地址、源地址)、VLAN、以太优先级等进行流分类。而 IPC 在核心 PTN 设备节点增强了流分类能力,可以基于目的 IP 地址进行流分类,一个 IP 地址流分类规则就对应一条 IP 路由,该 IP 流分类规则由用户人工配置。

核心 PTN 节点设备实现 IPC 方案需要支持的功能:

核心 PTN 节点设备维护一个静态 IP 路由表,IP 路由由用户人工配置。

核心 PTN 节点设备把 IP 路由转换为基于目的 IP 地址的流分类规则。流分类之后,按 PTN 设备的常规配置把 IP 路由表中各个表项的输出口映射为输出伪线 PW。

IPC 的其他操作和传统的 PTN 操作一样。

IPC 中包转发过程类似 L3VPN:核心 PTN 节点依然是通过 EVPL 专线业务来支持 IPC 功能,核心 IPC PTN 节点针对收到的包根据其 IP 地址进行流分类,并根据路由表把不同的流映射到不同的 PW。因此在 L3PTN 核心网中,基于 IPC 方案的包的封装格式和基于 L3VPN 方案不同。如图 3 所示,前者的包格式是基于 TU/PW 标签的 PTN 封装格式,类似接入和汇聚层中包的格式,只是不使用客户 VLAN 域;而后者的包格式是基于 VRF 标签的封装格式。

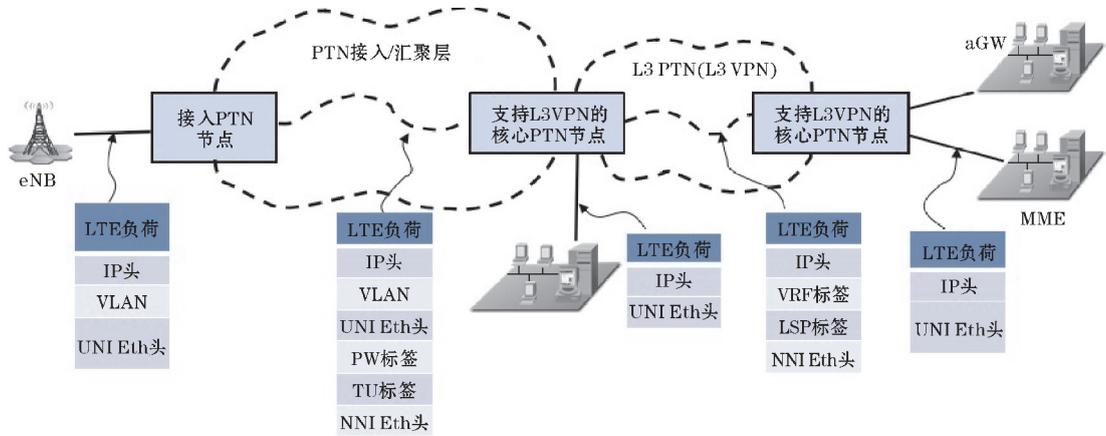


图3 IPC方案及封装格式

IPC的保护和DHCP中继功能类似L3VPN方案,不再赘述。

### 3 L3VPN网络和IPC网络的互通

L3VPN网络和IPC网络的互通有两种方式:

(1)把L3VPN和IPC的互连接口作为UNI接口。支持L3VPN的核心PTN节点剥去VRF标签和LSP TU标签,将IP封装成标准以太包,转发到互连接口;支持IPC的核心PTN节点从互连接口上收到这个标准以太包后,再封装IP包为IPC核心PTN网络的包格式(增加TU/PW标签)<sup>[14]</sup>。

(2)把L3VPN和IPC的互连接口作为PTN NNI接口。支持L3VPN的核心PTN节点剥去VRF标签,映射IP包到PW,加上TU/PW标签和NNI以太包头。这种方式中L3VPN的核心PTN设备起网关的作用,因此不是一个端到端的L3VPN方案。

如果一个L3VPN网络的业务通过IPC网络透明传输到另一个L3VPN网络,可以采用一种更简单的互通方式:IPC网络为L3VPN业务提供一个透明隧道(PW+TU LSP),即支持L3VPN的核心PTN节点不剥VRF标签和TU标签,直接把L3VPN包发给IPC网络的核心PTN节点,后者映射L3VPN业务包到PW。

### 4 3种方案的总结

PTN+CE的L3方案最大优点是实现最简单。现有的L2.5层PTN设备无须做任何改动,只需外接一个现成的CE路由器即可,L3功能由CE路由器实现。缺点是从客户的观点看,PTN+CE不是一个完全的端对端方案,因为:(1)操作维护管理(operation administration and maintenance, OAM)和保护无法跨越L2.5 PTN和L3 CE两种设备实现端到端的OAM和保护,

PTN的OAM和保护在PTN域终结而IP的OAM和保护在IP域终结,造成故障定位困难<sup>[15]</sup>。(2)在网络保护方面,由于路由器的保护功能欠缺将会影响PTN+CE的保护效果。(3)无法实现统一网管。此外,PTN由传输部门运维而路由器由数据部门运维,PTN+CE方案由于要两个部门参与,对客户而言,也难于管理。

而L3VPN和IPC两种方案,可实现端到端的OAM,这样更有利于网络管理的保护和统一。此外,经过近几年的发展,L3VPN和IPC方案使用了1588v2同步技术,其同步能力已明显优于PTN+CE方案。

在L3PTN的L3VPN和IPC两种L3方案中,核心PTN节点实现L3功能,但只支持静态IP路由,不实现复杂的路由协议(BGP/OSPF/IS-IS协议),一方面显著降低了设备复杂性和PTN设备的CPU负荷,但另一方面,用户的配置和维护会变得更烦琐和困难。

在现有的PTN核心设备中,如果核心MPLS-TP交换芯片支持或部分支持IP处理功能,可考虑用L3VPN方案实现L3功能,但CPU能力需要增强,软件架构也可能需要比较大的变化以支持IP应用。

而IPC方案相对L3VPN,只需要核心MPLS-TP交换芯片有非常有限的IP能力,能识别IP头的目的IP地址即可,PTN再根据IP地址进行流分类,对现有核心PTN设备的改动小,适应更广泛,但需要支持更大的流分类能力。CMCC LTE中一个典型的移动回传网络有250个eNB,如果每个eNB有30个IP路由,则需要支持7500个流分类。因此除了增强流分类能力外,对软件架构的改动和CPU能力的要求均显著低于L3VPN。

综上所述,相比于PTN+CE方案,L3PTN方案具有明显的优势。而L3PTN的L3VPN和IPC两种方案各有优势。L3PTN的发展方向是在L3PTN中支持一些简单的三层路由协议,而L3VPN比IPC更容易做到这点,从这个方面看,L3VPN是最佳的方案。

## 参考文献:

- [1] 吴满全. PTN网络L2VPN和L3VPN协调保护技术研究[J]. 信息通信, 2019(4): 219-221.
- [2] 王牧云. PTN支持L3VPN技术的研究与验证[J]. 电信科学, 2012, (4): 119-123.
- [3] 兰可. 基于PTN技术的TD-LTE光传输组网模式研究[J]. 通信世界, 2018(2): 114-115.
- [4] 黄勇, 吉萌. Web Server中静态路由的配置机制及实现[J]. 光通信研究, 2011(5): 7-9.
- [5] 江伟, 王琼, 龚瑞雪. PTN技术及其在电信网应用[J]. 信息通信, 2017(7): 177-178.
- [6] 马子江, 许辉, 王斌. LTE多媒体广播多业务关键技术研究[J]. 中兴通讯技术, 2011, 17(5): 34-38.
- [7] 黄晓庆, 唐剑锋, 徐荣. PTN-IP化分组传送[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.
- [8] 龚倩, 邓春胜, 王强. PTN技术规划建设与运维实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [9] 赵杰. 浅谈PTN技术发展与网络架构[J]. 通讯世界, 2017(24): 133-133.
- [10] 晓霞, 卢灵宣. EPC Pool组网下PTN网络配置方案[J]. 邮电设计技术, 2016(4): 72-75.
- [11] Lv Shuai; Lu Yueming; Ji Yuefeng. A buffer level clock recovery based on least mean squares in PTN [J]. Broadband Network & Multimedia Technology, 2009.
- [12] 龚倩, 邓春胜, 王强. PTN技术规划建设与运维实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [13] Razo, Miguel; Litovsky, Arie, Huang, Wanjun. The PlaNet\_PTNet Module: A Single layer design tool for packet transport network[J]. 2009 IEEE 14th International Work on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and networks, CAMAD 2009.
- [14] 201-2277T-YD Packet transport network (PTN) equipment technical requirement V0.9 [S]. 北京: 2012.
- [15] 徐云斌, 赵俊峰, 杨会峰, 等. PTN网络性能劣化故障定位方法[J]. 光通信技术, 2016(12): 27-30.

## L3 Function Scheme for PTN of LTE Mobile Backhaul

SUN Jie, YANG Huan

(College of Communication Engineering, CUIT, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The necessity of L3 function for PTN network in LTE mobile backhaul is presented firstly. Then, three L3 function implementation schemes of PTN+CE, L3VPN and IPC are described in detail. The packet format, packet forwarding and processing flow of the three schemes are subsequently analyzed. And the pros and cons of the three schemes are also compared. In addition, the interworking method between L3VPN and IPC was given.

**Keywords:** PTN; L3VPN; IPC; mobile backhaul; virtual route forwarding