

文章编号: 2096-1618(2020)06-0632-05

# 一种 5G 承载网中接入 PTN 设备 L3VPN 实现方案

孙捷, 杨欢, 廖鑫

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**分析 5G 移动承载网架构及 L3VPN 功能下沉至边缘接入设备的需求,提出一种对 5G 承载网接入 PTN 设备进行简单软件升级实现 L3VPN 功能的 IPC 方案,分析该方案核心思想及优势,给出其详细的工作过程、L3VPN 包格式及转发处理流程。

**关键词:**5G 承载网;分组传送网;IP 流分类;三层虚拟专网;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.2020.06.009

## 1 5G 承载网架构及 L3VPN 功能下沉至边缘接入设备的必要性

5G 是目前通信领域技术发展和投资最快的领域。不同于以前的 2G、3G 和 4G,5G 不仅是移动通信技术的升级换代,而且将成为未来物联网和工业互联网发展的基础设施,真正实现“4G 改变生活,5G 改变社会”,从而创建一个全互联的世界。

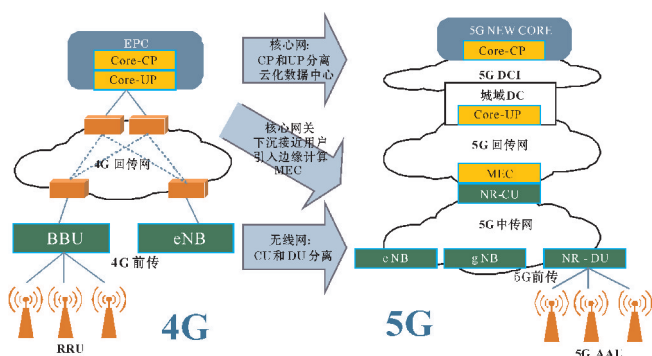


图1 从 4G 到 5G 无线和承载网络的演进

相对于 4G/LTE,5G 无线和核心网架构都发生了很大变化。如图 1 所示,5G 的无线接入 RAN 网络从 4G 的 BBU 和 RRU 两级结构演进到 CU、DU 和 AAU 三级结构。BBU 的一部分 L1 层功能和 4G RRU 功能合并成有源天线处理单元(active antenna unit, AAU)。集中单元(centralized unit, CU)是把 BBU 中没有实时处理要求的协议和服务功能分离出来。BBU 的物理层功能处理和实时服务功能演进为分布单元(distribute unit, DU)。对核心网演进而言,5G 中核心网会从

4G 的 EPC 演进成 New Core 和移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)两部分。New Core 将以 cloud 形式云化部署于大型数据中心(DC),MEC 将部署在城域汇聚的中小型 DC 或更下层接入位置并紧邻 CU<sup>[1]</sup>。

为适应 5G 无线和核心网的架构演进,5G 承载网架构也会随之变化。如图 1 所示,5G 承载网分成 4 部分:AAU 和 DU 之间是前传(Fronthaul),DU 和 CU 之间是中传(Middlehaul),CU 到 MEC 及 MEC 到 New Core 是回传(Backhaul),New Core 之间是数据中心互联 DCI<sup>[2]</sup>。

L3VPN(3 层虚拟专网)是基于 IP 的 VPN 技术,为用户提供 IP 路由可达性的虚拟专用网络。不同 VPN 用户之间的路由是隔离和互不影响的,就像每一个 VPN 中用户都连接一个的专用路由器上一样<sup>[3]</sup>。L3VPN 有多种实现技术,现在移动承载网中主流技术是 MPLS L3VPN。MPLS L3VPN 的核心是基于 2.5 层的 MPLS 网络,在核心节点间采用基于 MPLS 标签的隧道或伪线转发技术,在 MPLS 网络边缘节点采用三层 IP 转发。

在 4G/LTE 承载网中,一般接入和汇聚节点无须支持 L3VPN,只是在核心 PTN 节点才部署 L3VPN,且可以采用较简单的静态 L3VPN 方式,由人工配置 VRF IP 路由,这样 PTN 节点无须支持复杂的边界网关 BGP 协议,可以降低回传网络建设和运维的综合成本<sup>[4]</sup>。

但是对 5G 承载网而言,承载网必须满足 5G eX2 业务低时延转发的需求,因此 L3VPN 要下沉到接入和汇聚部分。此外,考虑到 5G 支持车联网等业务中 MEC 部署到 CU 及 CU 云化部署后,DU 需要灵活连接到两个或多个 CU 池。这样 DU 与 CU 之间的中传网络也需要支持 L3VPN 功能。

收稿日期:2020-05-18

基金项目:四川省高校重点实验室开放课题资助项目(QXXCSY201706)

由于严格的时延限制,前传一般采用无源或半有源的WDM方案,无法应用L3VPN。因此在5G承载网中,L3VPN功能应下沉到中传的边缘接入节点设备上。

## 2 5G承载网边缘接入设备实现L3VPN功能的IPC方案

由于在4G/LTE网络建设过程中,各大运营商已经对LTE承载网进行了巨大投资,运营商希望这些投资在5G移动承载网中继续发挥作用。而且在5G网络建设初期,特别是5G非独立组网NSA应用,需要和4G联合组网及长期共存。考虑到上述因素及网络平滑升级的需求,在5G建设初期,5G承载网有很大部分需要继续使用4G的承载网设备,甚至在较长时间内4G和5G共用承载网,比如4G承载中接入和汇聚网广泛使用的分组传送网PTN设备,在5G初期仍会直接或经过小的升级改造得到广泛应用。

### 2.1 IPC方案核心思想

从上面分析可知,核心PTN设备在4G/LTE中已经支持L3VPN功能,可以不用改造<sup>[5-6]</sup>。但接入PTN设备不具备L3VPN特性,必须要升级支持L3VPN功能才能作为5G承载网的边缘接入节点设备。接入PTN设备的硬件不用升级,只经过软件升级即可支持L3VPN功能。升级的可能性及方案分析如下:

由于静态L3VPN中人工配置每个VRF中IP路由,不用BGP路由协议,因此接入PTN设备的控制平面无须考虑L3VPN路由信息的发布和接收注入VRF路由表以及IP路由分发给CE节点等处理,只要在转发平面支持L3VPN的业务报文转发即可<sup>[7]</sup>。

但接入PTN设备支持L3VPN报文转发有一个巨大的困难:之前的接入PTN设备的数据转发平面因考虑成本一般使用FPGA或低端的L2.5层mpls switch芯片,只支持MPLS报文转发,不支持L3层报文转发<sup>[8]</sup>,也无法实现VRF内IP路由查找及打VRF label的功能,如果更换成支持L3层报文转发的switch芯片,要更换硬件平台,成本和难度不亚于开发一个新设备,与仅升级软件支持L3VPN的目标不符。

但即使不支持L3层报文转发的FPGA或低端mpls switch芯片一般也会支持输入报文的IP地址分析以用于安全和防攻击目的。把switch这个功能和MPLS流分类巧妙结合在一起,提出了IP流分类(IP

classification,IPC)方案,把L3VPN的VRF IP路由映射成相应的IPC流分类规则和MPLS VPWS交叉连接,从而实现转发平面把L3层报文转发桥接到MPLS报文转发,达到仅升级软件支持L3VPN的目的。

### 2.2 IPC方案实现L3VPN工作原理及数据平面转发过程

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MAC地址、源MAC地址)、VLAN及以太优先级等进行流分类<sup>[9]</sup>。而IPC方案在接入PTN设备节点增强了流分类能力,可以识别UNI口输入(ingress)包目的IP地址并基于目的IP地址进行流分类,即把UNI口输入相同目的IP地址的包放在同一个流中,不同IP地址包映射到不同流中。

在MPLS L3VPN应用中,VPN报文转发采用两层标签方式:外层隧道标签(tunnel标签),在MPLS网络进行交换,指示从PE到对端PE的一条LSP,使VPN报文可以沿LSP到达对端PE;内层标签(VRF标签),在到达PE时使用,指示报文属于哪个VRF<sup>[10]</sup>。利用IPC功能,把静态L3VPN配置的VRF标签映射成标签值相同的伪线标签(PW label),这样,一个IP地址流分类规则就对应一条L3VPN VRF IP路由。至于外层LSP的建立和Tunnel标签识别,本身就是接入PTN设备的标准功能,可以直接使用,无须为实现L3VPN功能做任何改动。

L3VPN还有一种重要场景:连接同一个PE的两个CE属于不同的VPN但有相同的私有IP地址。L3VPN是通过VRF解决这个问题,PE上为每个VPN分配一个VRF,各VRF互相独立,拥有各自的路由表和VRF标签表。由于这两个CE通过不同端口连接到同一个PE上,PE收到CE发的包后通过端口的VPN属性知道包属于哪个VPN,在对应的VRF中查找路由表进行转发。

在IPC方案中,由于包的ingress端口本身就是流分类的必备条件,因此IPC的基于“ingress port+目的IP地址”的流分类规则可以区别IP地址相同但输入端口不同的包,并映射到2个不同的流中,每个流加不同的PW label(即VRF label),走LSP到对端PE,从而达到正确处理这种场景的目的。

以图2的网络为例,将详述IPC方案原理、工作流程、封装及转发过程。

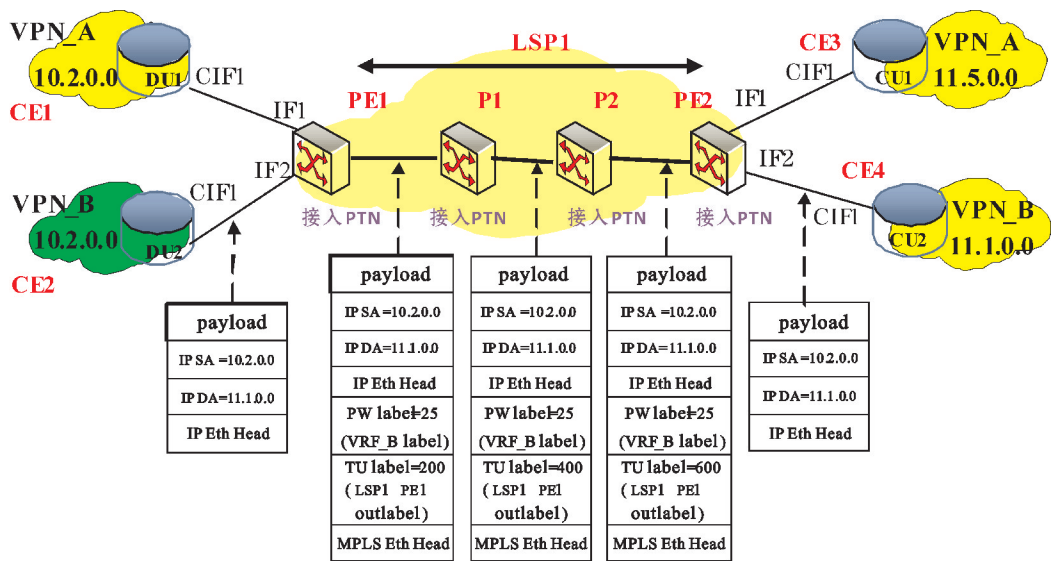


图 2 IPC 方案及封装格式

CE1 ~ CE4 是 5G RAN 的 DU 和 CU 设备, PE1、PE2、P1、P2 是 5G 承载网中传的接入 PTN 设备。PE1 和 PE2 需要支持 L3VPN 功能, P1 和 P2 只需要具备基本 MPLS 转发能力, 不需要具备 L3VPN 功能<sup>[13]</sup>。由于同一个接入 PTN 网元对不同 VRF 路由可以同时是 P 或 PE 角色, 因此中传中每个接入 PTN 网元都要支持 L3VPN 功能<sup>[14]</sup>。CE1 和 CE2 有相同的子网地址 10.2.0/24, 但分别属于不同的 VPN (VPN\_A 和 VPN\_B), 通过不同的接口 (IF1 和 IF2) 连接 PE1。IPC 方案详细工作过程如下:

(1) 在 NMS 上人工建立 PE1 和 PE2 之间的双向 LSP1, 并对 LSP 上每个节点分配隧道的输入和输出标

签 (TUInLabel、TUOutLabel), 使 L3VPN 业务报文沿该 LSP 从 PE1 到 PE2 或 PE2 到 PE1。由于 LSP 建在 NNI 口之间, PE1 和 PE2 对该 LSP 只有一个 NNI 口, 只需分配一组隧道输入输出标签 (TUInLabel、TUOutLabel); P1 和 P2 对该 LSP 有两个 NNI 口 (东向和西向都是 NNI), 要分配两组 (TUInLabel、TUOutLabel)。标签分配要满足一个 LSP 中光纤直连的两个 NNI 口一个 NNI 的隧道输入/输出标签等于另一个 NNI 的隧道输出/输入标签。LSP1 标签分配表如表 1 所示。

(2) 在 NMS 上人工配置 PE1 和 PE2 的 VPN\_A 和 VPN\_B 的静态 L3VPN VRF 路由表, 如表 2 所示。

表 1 LSP 标签分配表

LSP1:	东向 NNI TUInlabel	东向 NNI TUOutlabel	西向 NNI TUInlabel	西向 NNI TUOutlabel	LSP 东 PE	LSP 西 PE
PE1 NE	100	200	—	—	PE2	PE1
P1 NE	300	400	200	100		
P2 NE	500	600	400	300		
PE2 NE	—	—	600	500	PE2	PE1

表 2 PE1 和 PE2 的静态 L3VPN VRF 路由表

	VPN_Id	目的 IP/mask	VRF Label	VRF label 操作	下一跳 PE	出口 IF
PE1 L3VPN VRF 路由表	VPN_A	11.5.0/24	15	PUSH	PE2	LSP1
	VPN_B	11.1.0/24	25	PUSH	PE2	LSP1
	VPN_A	10.2.0/24	15	POP	—	IF1
	VPN_B	10.2.0/24	25	POP	—	IF2
PE2 L3VPN VRF 路由表	VPN_A	10.2.0/24	15	PUSH	PE1	LSP1
	VPN_B	10.2.0/24	25	PUSH	PE1	LSP1
	VPN_A	11.5.0/24	15	POP	—	IF1
	VPN_B	11.1.0/24	25	POP	—	IF2

同时,PE 向与之相连的 CE 通告 L3 路由或人工在 CE 上建静态 L3 路由如表 3 所示。注意 CE 不支持 L3VPN,没有 VRF(CE 上路由表建立和维护不属于接入 PTN 设备 L3VPN 功能范畴<sup>[15]</sup>)。

表 3 CE 的 L3 路由表

	目的 IP/mask	下一跳	CE Egress port
CE1 路由表	11.5.0/24	PE1	CE1 C1F1
CE2 路由表	11.1.0/24	PE1	CE2 C1F1
CE3 路由表	10.2.0/24	PE2	CE3 C1F1
CE4 路由表	10.2.0/24	PE2	CE4 C1F1

(3)在 PE1 和 PE2 上把 L3VPN VRF 路由表映射为 IPC 流分类规则及 VPWS 交叉连接配置。

在 PE1 和 PE2 上创建伪线 PW1,用于承载 VPN\_A 的 L3VPN 业务。PW1 的输入和输出标签 PWInLabel=PWOutLabel=15,和 VPN\_A 的 VRF label 一样。在

PE1 和 PE2 中把 PW1 放入隧道 LSP1 中,使 VPN\_A 业务通过 VPWS 交叉到 PW1 后可以沿 LSP1 到达对端 PE。

类似地,在 PE1 和 PE2 上创建伪线 PW2 并把 PW2 也放入隧道 LSP1 中,用于承载 VPN\_B 的 L3VPN 业务。PW2 的输入和输出标签 PWInLabel=PWOutLabel=25,和 VPN\_B 的 VRF label 一样。

在 PE1 和 PE2 上创建“ingress port+目的 IP 地址”的 IPC 流分类规则,使 VPN\_A 和 VPN\_B 的业务包导入不同的流分类 flow 中(flow\_A 和 flow\_B),再在流分类后的 flow\_A 和 PW1 之间创建 VPWS 交叉,使 VPN\_A 业务通过 IPC 和 VPWS 交叉映射到 PW1 中并沿 LSP1 到达对端 PE。相应地,flow\_B 和 PW2 之间创建 VPWS 交叉用于承载 VPN\_B 业务到 PW2 中并沿 LSP1 到达对端 PE。

IPC 规则及 VPWS 交叉表如表 4 所示。

表 4 PE1 和 PE2 的 IPC 规则及 VPWS 交叉表

	flow	Flow 对应 VPN	Flow 的 IPC 规则		Flow 的 VPWS 交叉
			Ingress port	目的 IP/mask	
PE1 IPC 及 VPWS	flow_A	VPN_A	IF1	11.5.0/24	flow_A VPWS 交叉到 PW1
交叉表	flow_B	VPN_B	IF2	11.1.0/24	flow_B VPWS 交叉到 PW2
PE2 IPC 及 VPWS	flow_A	VPN_A	IF1	10.2.0/24	flow_A VPWS 交叉到 PW1
交叉表	flow_B	VPN_B	IF2	10.2.0/24	flow_B VPWS 交叉到 PW2

以图 2 为例,从 CE2 到 CE4 的 VPN\_B L3VPN 业务在数据平面转发过程及包格式如下:

(1)CE2 发给 CE4 的包目的地址是 CE4 IP(11.1.0.0),源地址 CE2 IP(10.2.0.0),CE2 查自己的路由表得到下一跳 PE1 及包出端口 CE2 C1F1。CE2 按路由表将包发给 PE1。

(2)PE1 从 IF2 收到 CE2 的包后,由于 PE1 已经建立了 IPC 流分类规则及 VPWS 交叉,这个包符合 flow\_B 的 IPC 规则,自动进入 flow\_B 并通过 VPSW 交叉映射到伪线 PW2 及隧道 LSP1 里。进入 LSP 会加两层 label:PW2 label(即 VPN\_B VRF label 25)和 LSP label(LSP1 在 PE1 的 outLabel 200)。

(3)业务包沿 LSP1 标签交换路径从 PE1 送到 PE2,这个过程是标准 MPLS 标签交换过程,中间节点 P1 和 P2 只交换隧道 Tunnel 标签,不用支持 L3VPN 功能,也不处理 PW 标签。

(4)业务包进入 PE2 后,剥掉 Tunnel 标签,检查 PW 标签是 PW2 的 label(25)得知包属于 PW2,而在 PE2 上已经建了 PW2 到 flow\_B 的 VPWS 交叉,按 VPWS 交叉的 NNI 到 UNI 包处理过程,这个包继续剥掉 PW2 label 和 MPLS Eth 头后从 flow\_B 的 Port(即 IF2)

输出,即把 CE2 发出的完整的 IP 包送给了 CE4。

由于 IPC 流分类规则只作用于 VPWS 交叉 UNI 到 NNI 方向 UNI 入包的流分类,业务包从 PE2 送给 CE4 是 NNI 到 UNI 过程,流分类规则不起作用,仅查找 UNI 输出端口,因此虽然 PE4 从 NNI 收到包目的 IP(11.1.0.0)和 PE2 上 flow\_B 的 IPC 规则的目的 IP(10.2.0.0)不同也不会影响包从 IF2 送给 PE4。

3 结束语

提出一种对 5G 移动承载网接入 PTN 设备进行简单软件升级实现 L3VPN 功能的 IPC 方案,把 L3VPN 的 VRF IP 路由映射成相应的基于“IP 包输入端口+目的 IP 地址”的 IPC 流分类规则和 MPLS VPWS 交叉连接。IPC 方案只需要接入 PTN 设备交换芯片能识别 UNI 口入包的目的 IP 地址即可,其优势在于现有的接入 PTN 设备无须硬件改动,除了增加基于目的 IP 的简单流分类外,对软件其他功能模块几乎没有修改,这样可通过软件的平滑升级实现 L3VPN 功能。

提出的 IPC 方案还有进一步改进的地方,比如如何改进 IPC 支持 L3VPN FRR(快速重路由)保护,还需



要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 5G 时代光传送网技术白皮书[Z]. 北京: 中国电信 CTNet2025 网络重构开放实验室, 2017.
- [2] 5G 中国移动切片分组网 (SPN) 总体技术要求 V0.0.1[S]. 2018.
- [3] 201-2277T-YD Packet transport network (PTN) e-equipment technical requirement V0.9[S]. 2012.
- [4] 王磊. 中国移动 PTN 网络规划和部署策略[J]. 移动通信, 2010, 34(17): 45-50.
- [5] 赵杰. 浅谈 PTN 技术发展与网络架构[J]. 通讯世界, 2017(24): 133-133.
- [6] 覃晓霞, 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.
- [7] 孙捷, 姚尧. PTN 中静态 L3VPN 的一种 IP 路由动态学习方法[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 10(5): 503-508.
- [8] B M, Bryant S, Frost D, et al. A framework for MPLS in transport networks[R]. draft-ietf-mpls-tp-framework-10, 2010.
- [9] 刘伟信. PTN L2/L3 设备中 LTE 业务归属化的研究[J]. 信息通信, 2019(5): 124-126.
- [10] 林慰. MPLS VPN 用户组网分析及解决方案[J]. 电子世界, 2016(19): 163-163.
- [11] Zheng L, Parise B, Li Z, et al. Performance Monitoring Analysis for L3VPN[J]. 2014.
- [12] 倪希平, 黄野萍. 一种基于 MPLS-VPN 的主备线路切换的模型[J]. 中国新通信, 2017, 19(17): 62-63.
- [13] 周显. 面向 5G 时代传输网络承载策略探讨[J]. 通信世界, 2017(19): 93.
- [14] 王牧云. PTN 支持 L3VPN 技术的研究与验证[J]. 电信科学, 2012(4): 119-123.
- [15] 孙捷, 杨欢. 用于 LTE 移动回传 PTN 的 L3 功能方案[J]. 成都信息工程大学学报, 2019, 12(6): 573-577.

## A Solution of L3VPN Function for Access PTN Device in 5G Carrier Network

SUN Jie, YANG Huan, LIAO Xin

(College of Communication Engineering, Chengdu University of Information and Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The architecture of 5G carrier network and necessity of L3VPN function sank to edge access device is analyzed firstly. The IPC solution of L3VPN function is presented, which only need to upgrade software of 5G carrier network in access to PTN NE. The core thoughts and advantages of IPC solution is analyzed. The IPC working process, L3VPN packet format and data forwarding flow are detailed described.

**Keywords:** 5G carrier network; PTN; IPC; L3VPN; virtual route forwarding