

MSTP、PTN 和 P-OTN 在网络中的定位及思考

蒋俏峰 陆伟

摘要: 面向 IP 的传送网络进入了群雄混战时代, 各类新技术 MSTP、PTN 和 P-OTN 等层出不穷, 本文对各种不同技术如何在网络中定位做了简要分析, 以理清技术选择思路。

关键字: MSTP PTN P-OTN MPLS-TP

1 引言

随着家庭娱乐、IPTV、远程控制、远程医疗、家庭安全、移动回传等各类三重播放新业务的出现和普及, 通信网络的主流业务从传统的 TDM 语音向数据快速发展, 使得以往简单的点对点的传输网演变成业务独立的最大的传送平台。同时, 由于数据业务的 APRU 值相对较低, 这要求未来传送网必须能够十分经济可靠地支持上层海量的数据包业务的传送, 并支持网络演进的连续性。

化挑战为机遇, 不同网络层次都有不同的技术解决方案来提供面向 IP 的业务承载, 这也导致了以往清晰的传送网络分层模型中, 一、二、三层之间的界限越来越模糊, 彼此之间的关系有竞争、有互补, 更进一步促进了整个承载网络架构的演进, 使得网络在垂直方向呈现扁平化趋势, 而水平方向呈现融合渗透趋势。同时, 随着各类不同层次技术的成熟, 直接将传送网络的技术选型推向战国时代, 精彩纷呈。

本文简要介绍了各类技术 MSTP、PTN 和 P-OTN 的演进路线, 并对其在网络中的应用做了分析和建议。

2 面向分组业务的传送网络—技术演进路线

2.1 MSTP

基于 SDH 一层技术的多业务传输平台的 MSTP, 为了适应逐步增加的数据业务的需求, 从 2000 年以来经历了五个发展阶段:

第一阶段, 在原有的 SDH 传输平台上, 提供了 ATM 和 Ethernet 接口, 以完成数据业务的透传功能, 主要技术为级联、LAPS 封装等;

第二阶段, 在第一阶段的基础上提供了强大的以太网二层交换能力和 ATM 的交换功能, 通过划分 VLAN 实现用户的有效安全隔离, 同时还可组建 ATM 的 VP-Ring 和利用以太网的 STP 保护;

第三阶段的主要特点是引入了 GFP 封装机制、LCAS 链路容量动态调整和虚级联技术, 使得 MSTP 对数据业务的支持能力进一步加强, 同时也在 MSTP 中内

嵌 RPR（弹性分组环）技术，引入了带宽统计复用功能，提高了环路利用率；

第四阶段的 MSTP 主要特点是内嵌了 MPLS 功能，更好的实现了 VLAN 的地址扩展，可以提供新型以太网业务如 L2VPN 等，完善了第三阶段 MSTP 对数据业务的支持能力；

发展到第五阶段，MSTP 的主要特征是直接引入了分组交叉内核，提供双交叉平面机制，以纯数据分组内核应对数据业务，保留 TDM 交叉内核满足 TDM 业务的需求，从而成为向基于纯本组内核的 PTN 的过渡阶段。

表 1 各类分组传送技术特点比较

	增强以太	PBB-TE	MPLS-TP	L2 MPLS	IP/MPLS
技术类型	二层桥接	二层连接	二层连接	二层桥接	三层路由
主要设备类型	以太网设备	以太网设备	MPLS-TP 设备	MPLS 设备	MPLS 设备
转发面	采用 MAC 地址转发，利用生成树协议对地址学习，对于未知地址进行广播；	使用 Provider MAC 加上 VID 共 60bit 的标签进行业务的转发，关闭基于 VLAN 的 MAC 自学习功能	基于 MPLS 32bit 的标签进行转发，抛弃了 IETF 为 MPLS 定义的繁复的控制协议族	基于 MPLS 标签转发	基于 MPLS 标签转发+IP 路由
可扩展性	QinQ 或 MACinMAC	MACinMAC 分层分域	TMC/TMP、标签嵌套	标签嵌套	差
QoS	分类、策略、拥塞管理等 QoS 机制	面向连接，分类、策略、拥塞管理等 QoS 机制	面向连接，分类、策略、拥塞管理等 QoS 机制	面向非连接，可在网管中静态配置，以提高高 QoS	链路轻载，通过快速路由收敛、DiffServ 和 FRR 等来保障
保护恢复	STP、RSTP、MSTP；线性倒换、环网保护（G. 8031、G. 8032）	线性倒换、环网保护（G. 8031、G. 8032）	线性倒换、环网保护（G. 8031、G. 8032）；MPLS 和 GMPLS 恢复工具	端到端保护、多点失效保护等	基于 MPLS-TE 的 FRR
时钟和同步	IEEE1588V2、同步以太网	IEEE1588V2、同步以太网	IEEE1588v2、同步以太网、SDH 时钟同步网	IEEE1588V2、同步以太网	IEEE1588V2
标准化状况	G. 8010V2 (2009.10) 完成	IEEE802.1Qay Draft4.5 完成；ITU-T G. ppb-te (2010 年完成)	由 IETF 主导，ITU-T 协作，预计在 2011 年 2 月完成	沿用 IETF 标准，部分技术为厂家私有，非标准化	成熟

2.2 PTN

PTN 指分组传送网络，主要是基于二层分组的传送平台。从狭义的角度理解 PTN，应具备两个基本的特征：纯分组内核以及面向连接的传送，目前主要有两种技术倾向：基于 MPLS 技术的 MPLS-TP 和基于以太网技术的 PBB-TE。

从广义的角度阐述 PTN，则一切满足电信级应用的分组技术都应涵盖到 PTN 中，如增强以太、L2 MPLS (VPLS) 等，两者间主要区别在于是否面向连接。

表 1 例举了以上四种分组技术的主要特征，并增加了三层 IP/MPLS 分组作为比较。

2.3 P-OTN

P-OTN 是一个新名词，指的是 Packet Optical Transport Node，类似的名词还有 POTS (Packet Optical Transport System)、POTP (Packet Optical Transport Platform) 等。同样，有两个层次的含义：

从狭义的角度理解 P-OTN，是指 PTN 和 OTN 的有效融合，从 OTN 的范畴上看，重点涉及到 ODUflex 技术。在 2009 年 3 月份 ITU-T SG15 Q11 的 Sunnyvale 中间会议上，由阿尔卡特朗讯提出了可封装 VLAN 的 ODUflex 新应用，并在会议中正式同意引入 ODUflex，其功能示意如图 1^[1]。

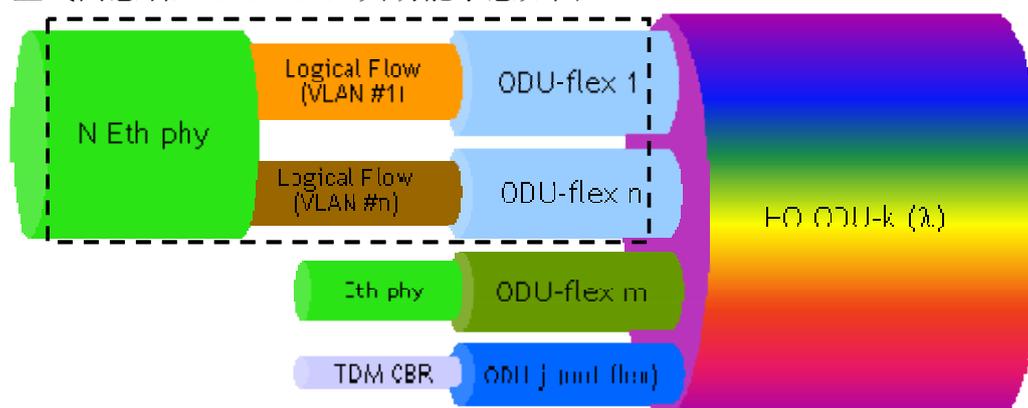


图 1 ODUflex 功能架构图

上述架构大大扩展了 ODUflex 的应用范围，使得 ODUflex 的客户侧信号多样化，对于分组客户，ODUflex 可封装：以太网帧流、IP/MPLS 分组包流、各类 VLAN 等，其速率可为 1.25G 至 100G 之间的任意速率；同时保留其对电路客户的封装能力，如：40GbE 代码转换后的定时透明数据流、100GE 的比特流、3G 高清或标清电视信号、4G/8G/10G 的 FC 业务以及任意速率在 2.5G 和 100G 之间的恒定比特率业务。狭义的 P-OTN 应该是 PTN 和 OTN 并重融合的技术，目前还没有对应的设备形态，具体应用场景也有待于进一步探讨，也没有针对性的标

准组织，只能跟随 PTN 和 OTN 标准的发展。

从广义的角度理解 P-OTN，是指对现有 OTN 进行改造，使得 OTN 网络适应业务层面的分组化，主要技术特点是：引入了任意固定比特率的映射方式 GMP；引入了 ODU0、ODU2e、ODU4 等新的容器以适应 1GbE、10GbE 以及 100GbE 的透明传送；引入了 ODUflex 以应对其它任意恒定比特率业务的传送；定义单级复用架构，可以在电层实现灵活 ODU 调度等。这些技术，本质上还是侧重在 OTN 网络层面的范畴；其设备形态分为以下三类：

- 具备 ODU 电层交叉调度功能的 OTN 传送设备；
- 不具备 ODU 电层交叉调度功能的 OTN 传送设备，如传统的 WDM 等；
- 仅使用 OTN 接口的数据设备，如路由器出 OTN 彩光接口，或 PTN 设备出 OTN 接口等。

本文中，若不做特殊说明，PTN 和 P-OTN 均指其广义内涵。

2.4 小结

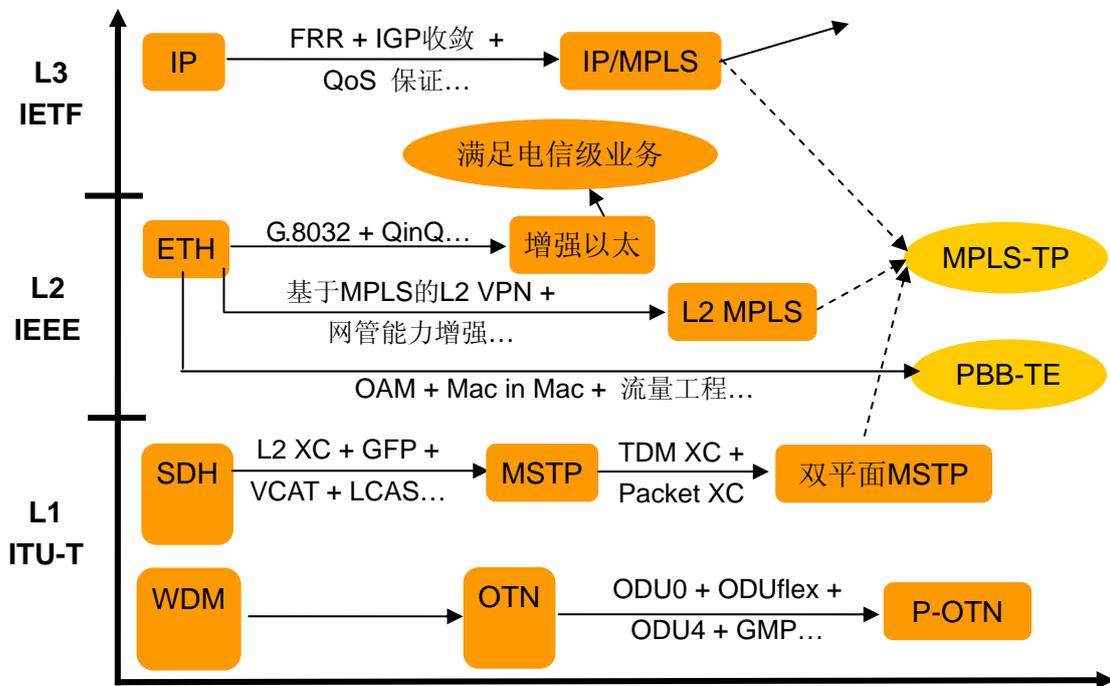


图 2 各层网络面向分组业务的技术演进图

图 2 显示了不同网络层次的设备在基于自身技术的前提下，引入了新的特征以适合分组业务的传送，相应的标准化组织也在不断地规范新的技术，其中 ITU-T 对应着第一层物理层技术；IEEE 对应着第二层数据链路层的技术；而 IETF 对应着网络层的技术（IP 层）。在技术层面上使得 MSTP、PTN、P-OTN、IP/MPLS

均能提供面向分组业务的传送功能。

3 面向分组业务的传送网络—网络的架构演进

现有分层的电信网络架构是在以往电话网的基础上，通过增加新的网络层次来满足不断出现的新业务类型和提供一些特定的服务而形成的，这一特定的背景使得已有的网络架构越来越不能适应全网 IP 化的要求。

3.1 垂直方向网络扁平化

从垂直方向上看，用 IP 路由代表无连接分组传送；ATM 交换机代表具有流量控制能力和服务质量的面向连接的分组传送；SDH 代表具有高可靠性能的点对点的传送层；WDM/P-OTN 代表具有最高传送容量和传送效率的传送层。然而，这样的分层结构是在特定的历史条件下形成的，整个网络的管理十分复杂，在 IP 业务为主导后，上述四层功能结构越来越显示出其内在的缺陷。如多层结构下，带宽的指配十分麻烦；不同层次间功能上重叠，如保护恢复等。

因此，在数据业务量成为网络的主导业务量后，话音时代的主流技术 SDH 和 ATM 的很多功能将变得毫无意义，从而独立的 ATM 层和 SDH 层将会逐渐消失，而这些层次的一些重要功能如 SDH 的保护恢复功能则分别融入到 IP 层和 WDM/P-OTN 层中去，使得整个网络架构层次扁平化，如图 3 所示。

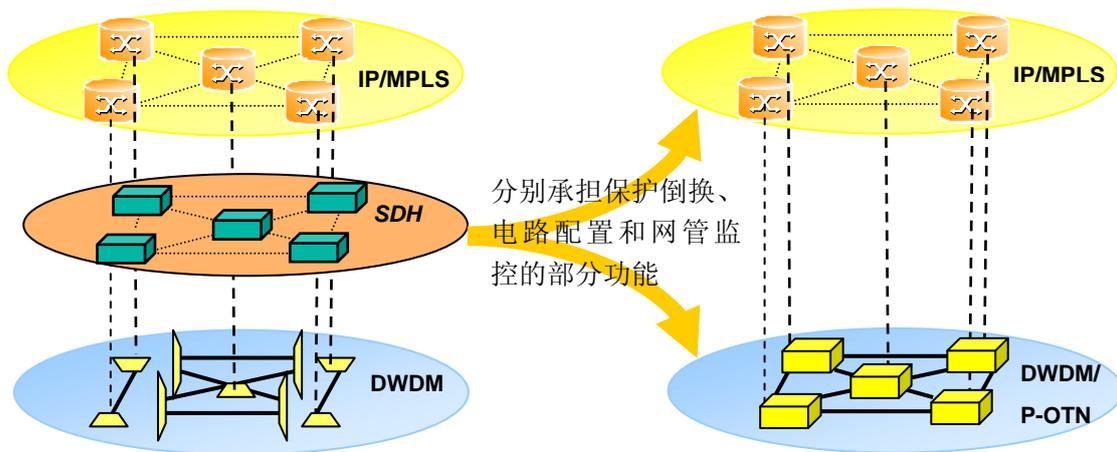


图 3 去掉 SDH 层后，其重要功能由 IP 层和 P-OTN 层分担

3.2 水平方向网络融合渗透

从水平方向上看，已有网络分为用户驻地网、接入网（最后一公里）和核心网三个层次；而核心网又分为中继网、二级干线网和一级干线网。目前，水平方向除了用户驻地网外，已经将一级和二级干线融合为了长途网，将接入网和中继网融合成了本地网，使得四级网络变成两级网络，从而结构更加简单，

便于统一建设、统一调度和统一管理。

即便如此，水平方向的网络融合还在继续，最后一公里的接入网层面借助 WDM 技术将可达距离进一步拉远，从而压窄了中继网在空间上的距离，反映在城域网层面，及城域接入和城域汇聚都有可能被借助 WDM 拉远方案的接入网所取代。

4 面向分组的传送技术的定位及思考

为了更好地理解不同的面向分组的传送技术 MSTP、PTN 和 P-OTN 在实际网络中的作用，有必要对实际现网的架构做进一步分析。

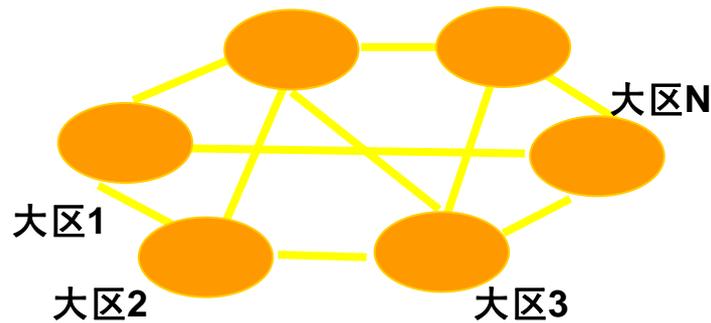


图 4 长途网核心路由节点互联

在长途网层面，通常是网状互联，如图 4 所示，主要由大区核心路由器节点之间互联而成。

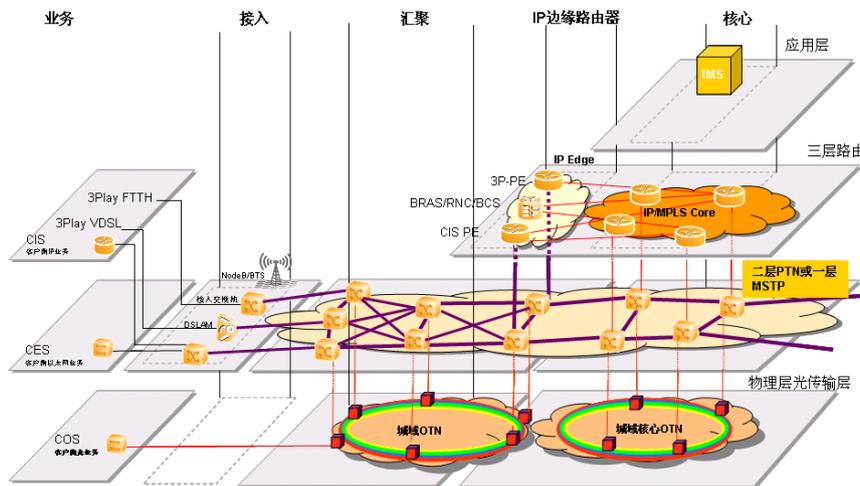


图 5 本地网基本网络架构

对于各个大区的本地网，则要复杂很多，通常水平方向由接入网、汇聚网、

和核心网组成，而垂直方向也分为一层物理层、二层数据链路层以及三层 IP 路由构建，由图 5 所示。

4.1 不同网络层次所对应的优选技术

从长途网层面，目前主要由核心路由器互联构建而成，此时，数据业务由于统计复用原因，突发特征减轻，更随着用户数的增加，由于大数定律的结果，核心网的业务量趋向随机的有规律的可管理的状态，此时业务量相对均匀分布，对传送层面主要是大管道互联的需求，调度主要的路由层面完成，因此，传送层所对应的优选技术是大容量长距离的波分复用系统，辅佐以波长级别的超大颗粒调度。设备类型以 10G、40G 和即将规模商用的 100G DWDM 为主。

本地网的核心层面和长途网类似，也主要由路由器互联构建，业务量也相对均匀分布，同样，对传送层面的需求主要是大颗粒直连和相对大颗粒的调度功能，相应的设备类型为广义的 P-OTN 设备，可以配备光层波长级别的调度，也可以配置 ODU 电层的调度组网。

从本地网的汇聚层面，调度需求加大，现有的三层路由设备、二层 PTN 设备以及一层 MSTP 设备都能很好的满足建网需求，另外，随着业务量的加大，P-OTN 也将逐渐引入。具体采用何种技术需要按实际网络现状以及性价比决定。

到了本地网的接入层面，则主要以二层 PTN 设备及一层 MSTP 设备为主，三层路由设备虽然也能满足绝大多数要求，但是考虑到其高成本，实际网络中很少使用。

表 2 不同网络层次对应的优选技术方案

	本地网			长途网
	接入层	汇聚层	核心层	
优 选 技 术 方 案	MSTP、PTN	MSTP、PTN、三层路由设备（IP/MPLS）、P-OTN	三层路由设备（IP/MPLS）、P-OTN	三层路由设备（IP/MPLS）、10/40/100G DWDM
注：本表所列 PTN 和 P-OTN 均指广义范围内的 PTN 和 P-OTN				

以上长途网和本地核心网主要的调度在路由层面完成，然而以数据业务的特点，大概有 70%左右的业务直通，核心路由节点主要实现数据转发的功能，因此，基于二层转发的 PTN 设备理论上具备取代核心转发路由器的能力，实际

情况中，由于前面提到的在核心层面业务量趋向均匀可管理，并且三层路由功能并不能完全消除，使得 PTN 并不能真正取代这些核心路由节点。而到了网络边缘，数据业务呈现明显的突发特征，业务负荷峰值/均值比高，业务量的需求和变化有很大的不确定性，使得调度和转接频繁，因此，所选设备需求有足够的交叉调度能力，导致三层路由设备、二层转发设备及一层电路调度设备都得到广泛使用，总结见表 2。

4.2 不同技术之间的关系

由表 2 可见，除了长途网以及本地网的核心层，都存在着多种优选的技术方案，它们之间有竞争也有互补。

4.2.1 IP/MPLS 和 PTN

在分组传送层面，IP/MPLS 和 PTN 两者之间的关系为整个网络规划设计的基础，由于图 5 所示的网络架构一旦扁平化，自然就有了两个演进趋势：

- 二层分组技术上移，往核心层推进；
- 三层 IP/MPLS 下移，往接入层逼近。

因此，清楚的定义二层和三层之间的边界是网络建设发展的重中之重。目前，业界有两种倾向分清这条边界：一是将 IP/MPLS 推到核心层，将汇聚层和接入层让给二层设备；二是将 IP/MPLS 推到汇聚层，只留下接入层给二层设备发挥。两者都有各自支持的运营商阵营，如中国移动倾向于第一种边界，而中国电信倾向于第二种边界。

然而，无论选用何种边界，在网络规划设计初期，清楚的界定出二层和三层设备之间的边界是整个网络中最重要的事情。

4.2.2 PTN 和 MSTP

PTN 和 MSTP 之间是一种共存和逐步取代的关系，即 PTN 将逐步取代 MSTP 或者说 MSTP 将逐步升级为 PTN，但是这将是十分漫长的过程。其主要原因是 TDM 业务将长期存在，其中，诺基亚西门子对不同客户的 2Mbps TDM 端口和 GE 端口的调查也验证了这个观点，如图 6 所示，有的运营商网络中，2Mbps TDM 端口数量在 2009 年增长达到顶峰，然后才开始下降，而预测到 2014 年初，每年新增的 GE 端口数才会超过 2Mbps TDM 端口数，这使得 PTN 和 MSTP 必将长期共存。

而 PTN 和 MSTP 设备之间的互联互通则是这类共存网络需要考虑的一个主要问题。通常，在 UNI 层面互联互通相对容易；但是 NNI 层面的互联互通现在还

不是很成熟，这也导致了在实际现网中，MSTP 和 PTN 设备是以 UNI 层面的互联互通为主。

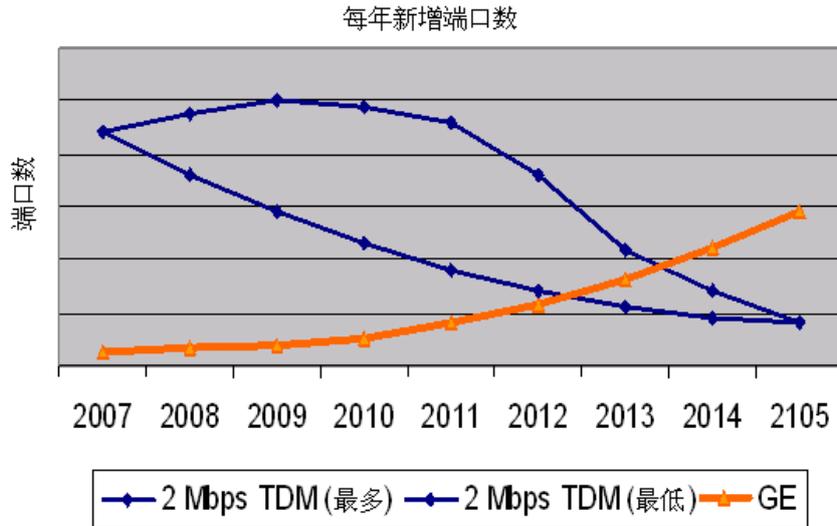


图 6 2Mbps TDM 和 GE 每年新增端口数统计

4.2.3 PTN 和 OTN

PTN 和 OTN 本质并没有冲突，因为 OTN 相对应用在物理层，在二层 PTN 之下，而 PTN 可以基于 OTN 的接口封装，通过 OTN 网络进行互联。

从设备形态上看，PTN 可以是带 OTN 接口的 PTN 设备，属于广义的 P-OTN 的一种；也可以是将 PTN 和 OTN 完全融合在一起的设备，即狭义的 P-OTN，不过目前还是以第一类只带 OTN 接口封装的 PTN 设备为主。

虽然 PTN 和 OTN 并没有竞争和冲突，但是值得注意的是：最后一公里的接入技术 GPON 或 NG-PON 等，可以利用 OTN 网络延长接入的传输距离，这使得接入网和核心网之间的距离更加缩短，在 2009 年 ITU-T SG15 组全会上，已有类似提案【2】【3】【4】，这种情况下，必将极大的压缩了 MSTP 和 PTN 的应用空间。甚至可以直接省却 MSTP 和 PTN 设备在网络上的应用。

4.2.4 P-OTN 和 MSTP

在核心层面，P-OTN 已经或将逐步取代 MSTP，使得网络扁平化为 IOverOTN 或 IOverDWDM；在接入和汇聚层面，由于 P-OTN 的颗粒度太大（最小 1GbE），使得 MSTP 还有一定的生存空间，但是随着网络数据业务量的提升，GE 口的增加，以及 OTN 范畴内任意恒定比特率映射方式 GMP 的引入（可以直接将低于 1GE 的速率信号封装到 ODU0 中），P-OTN 设备也在逐步向网络汇聚和接入层推进，

从而也将引发和 MSTP 的全面冲突。不过有一点可以肯定的是，MSTP 必将长期存在，因为 2Mbps 的专线业务必将长期存在。

4.2.5 MPLS-TP 和其它 PTN 技术

本文 2.2 提到广义的 PTN 还包含四大类技术：增强以太、L2 MPLS、PBB-TE 和 MPLS-TP。其中，呼声最高的是 MPLS-TP。无论从面向连接的特性、可扩展性、多点支持能力的角度看，MPLS-TP 都走在前列，如表 3 所示。

表 3 PTN 四类技术主要关键点对比

	增强以太	L2 MPLS	PBB-TE	MPLS-TP
面向连接	否	否	是	是
可扩展性	弱	是	是	是
多点支持能力	是	是	否	是

由表 3 的主要技术特点可知，在小范围的接入网范畴，可以使用增强以太设备；而 L2 MPLS 因为其面向非连接的特性，需要增强其网管功能才能满足端到端的网络要求；另外，PBB-TE 由于缺乏多点支持能力，只能和 PBB 联合使用，这直接导致在 PBB-TE 面向连接的特性丧失，再加上产业链薄弱（英国电信从 PBB-TE 转向 IP/MPLS；诺基亚西门子转向 L2 MPLS/MPLS-TP；只有北电还在继续坚持），使得其竞争力不如 MPLS-TP。因此，MPLS-TP 成为 PTN 技术选型中的主流方案。

然而，必须指出的是，现在大规模应用 MPLS-TP 还存在着巨大的风险。主要有两点：

第一、由于 MPLS-TP 是针对 T-MPLS 标准的问题和缺陷，在 IETF 主导下，ITU-T 和 IETF 联合开发的标准，对原有的 T-MPLS 的改动很大，如将 OAM 所用标签 14 改回标签 13；生存性时间 TTL 的用法改变等，这些都是和信号线速直接关联的功能项，且只能在硬件上实现（软件实现线速的处理难度太大），这意味着原有基于 T-MPLS 开发的 PTN 设备，升级到 MPLS-TP 设备后，必然要进行硬件的升级，或者至少 FPGA 的升级，而这类升级会导致全网业务的中断；

第二、标准的成熟度风险。在 IETF 和 ITU-T 成立联合开发小组后，原定于 2009 年底完成的 MPLS-TP 标准，在 2009 年 10 月的 ITU-T SG15 组全会上被推迟到 2011 年 2 月完成【5】，并且由于 IETF 在 10 月 5 日突然关闭 MEAD 工作组

(MPLS interoperability Design Team)【6】，使得 ITU-T 对 IETF 完成 MPLS-TP 标准的信心大降。

这一切都对 MPLS-TP 标准带来了很大的不确定性，也给运营商现阶段在网络中应用 MPLS-TP 技术蒙上了一层阴影。

4.3 实际建网的考虑

基于 MPLS-TP 标准上的不确定性，在实际建网中，在事先规划好三层和二层边界的前提下，三层以下的网络建设处于群雄混战的年代，大致来说，主要有三个思路：

- 保守型建网策略

保守型建网策略是优化现有的 MSTP 网络，等待其它技术的演进，如 MPLS-TP、L2 MPLS、P-OTN、甚至 PON 结合 OTN 等各类技术。直到技术路线明了后，再确定建网模型。

该策略的优点是没有技术上的不确定性，缺点是要保证在等待期内，优化的 MSTP 系统能满足占网络主导业务量的分组化业务的传送。如要求现有的第四阶段和第五阶段的 MSTP 至少在 3~5 年内还能满足分组化业务的传送需求。

- 稳健型建网策略

稳健型建网策略是在优化现有 MSTP 网络的基础上，先采用可以在未来容易升级到 MPLS-TP 技术的解决方案，如 L2 MPLS 等，因为 L2 MPLS 和 MPLS-TP 共用统一的 MPLS 协议簇，相对便于升级。

该策略的优点是未来升级到 MPLS-TP 时，网络潜在风险较小，缺点是必须保证 L2 MPLS 电信级的分组业务传送能力、高 OAM 特性、便于配置等类似 SDH 传送的功能，需要强大的集中式网管与之配合。

- 激进型建网策略

激进型建网策略是直接上马 MPLS-TP 项目，其优点是在现阶段数据业务量很大的前提下，提供纯分组的高可靠性传送；缺点是标准的不确定性必然导致未来网络升级过程中出现全面的业务中断。

此外，采用以上任意一个策略，在物理层，P-OTN 网络都可以从现在开始逐步拓展开来。

5 结束语

网络业务层面的分组化无可避免，而面向分组的网络传送则有了多个解决方案：MSTP、PTN、P-OTN 等，这些技术在实际网络结构层面上有竞争有互补。现阶段，运营商首先要清楚界定出二层和三层设备在网络层次上的边界，然后

再根据实际的网络模型选择具体的建网策略。

参考文献

- 【1】 Wd38-alu-odu-flex, ITU-T SG15 Q11 2009 March interim meeting.
- 【2】 TD 81/G (Rapporteur Q2/15) “Communication regarding G-PON over OTN”, ITU-T SG15 2009 plenary
- 【3】 C441 (Huawei Technologies, China Mobile Communications Corporation, PMC-Sierra) “GPON over OTN mapping”, ITU-T SG15 2009 plenary
- 【4】 C361 (PMC-Sierra) “Considerations and Proposal for Using OTN for GPON Reach Extension”, ITU-T SG15 2009 plenary
- 【5】 TD201-WP3 (IETF MEAD team) “LS - Project Process and Outline Schedule (ref # 007.01)”, ITU-T SG15 2009 plenary
- 【6】 TD218-WP3 (IETF Routing Area) “LS: Restructure of MPLS-TP Work Forums in the IETF”, ITU-T SG15 2009 plenary



作者简介:

蒋俏峰, 清华大学电子工程系硕士, 自 2004 年 4 月开始任职于诺基亚西门子通信技术(北京)有限公司, 曾担任 WDM 系统工程师、传输网络产品线经理等职位, 先后从事传送网技术研究及标准化工作, 参加了 ITU-T、IEEE 和 CCSA 等组织的标准化活动; 涉及的技术领域包括 NGPON、MSTP、MPLS-TP、OTN、40GbE/100GbE、DWDM 等。



陆伟, 德国斯图加特大学多媒体与通信技术系硕士, 自 2004 年 12 月加入诺基亚西门子通信技术(北京)有限公司起一直从事通信网络固网接入与传送技术研究及标准化工作, 目前还重点负责网络安全的研究及标准化工作。主要参与 CCSA TC6、TC1WG1、TC5WG5 的标准制定与研究。涉及的技术领域包括 PON、DSL、MPLS-TP、Ethernet Protection、3G/LTE

Security 等。