基于 PTN 与 OTN 联合组网的带宽调整机制研究

谢宝帅，张永军

（北京邮电大学信息光子学与光通信研究院，北京 100876）

摘要：提出分组传送网（packet transport network，PTN）与光传送网（optical transmission net，OTN）联合组网模式下的带宽调整机制，使得 OTN 在承载不同等级业务时的业务性能在较好的范围内。联合带宽调整机制利用 PTN 的多层服务质量（quality of service，QoS）功能支持对不同等级业务的识别，采用一个控制节点集中分配带宽资源，同时为不同等级的业务设置相应权限，保证低等级业务可以分配到一定的带宽资源，避免优先级高的业务完全占用资源的情况。仿真表明，该机制在业务时延、丢包率及网络带宽利用率等方面的性能较好，可以工作在 PTN 与 OTN 联合组网条件下。

关键词：通信传输技术；联合组网；带宽分配；服务质量

中图分类号：TN915.81　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-2850(2014)08-0750-05

Bandwidth adjustment mechanism of joint network based on PTN and OTN

XIE Baoshuai，ZHANG Yongjun

(*Insitute of Information Photonics and Optical Communications*，*Beijing University of Posts and Telecommunications*，*Beijing* 100876，*China*)

Abstract：In this paper，a bandwidth adjustment mechanism based on joint networking of packet transport network (PTN) and optical transmission net (OTN) is proposed. The mechanism is used by OTN，and exhibits good performance. PTN can support multi-layer quality of service (QoS) and identify different services. The mechanism uses superiority of PTN and sets a OTN node as the master. The master allocates bandwidth resources and sets different weights for different services. This ensures that low-level services can get some bandwidth resources. Simulation results show that the mechanism has a good performance in delay，packet loss rate and network bondwidth use rate，and it can work under the condition of PTN and OTN joint networking.

Key words：communication transmission technology；joint networking；bandwidth allocation；quality of service

0 引言

随着 4G 的到来与发展，运营商承载网络中的数据业务占据的份额会越来越多，未来主导的业务形式也必然是数据业务。传统的同步数字体系（synchronous digital hierarchy，SDH）、多业务传送平台（multi service transport platform，MSTP）的组网模式已不能高效地完成对大量数据业务的高效承载[1]。面对市场的现实需求，目前主流的解决方案之一是采用 PTN 与 OTN 联合组网模式。在 PTN 技术中采用的分组包封格式中包含 QoS 字段，支持多层区分服务，可以提供端到端的 QoS 能力[2]，但是 PTN 的缺点是其传送粒度相对现实需求偏小。OTN 可以提供大颗粒度的交叉，但其在电层和光层都无法直接支持区分服务，同时 OTN 刚性管道的利用率较低。对于 PTN 与 OTN 联合组网模式，要解决的问题是在利用 PTN 标签技术支持 QoS 的同时提供一套较好的带宽分配机制，实现汇聚后的业务在 OTN 上的高效承载。这里在 PTN 与 OTN 联合组网条件下，利用 PTN 的多层

作者简介：谢宝帅（1988—），男，硕士研究生，主要研究方向：宽带光网络技术
通信联系人：张永军，教授，主要研究方向：下一代光网络. E-mail：yjzhang@bupt.edu.cn

区分服务功能，对承载的业务加以区分，汇聚后的业务在 OTN 设备的存储介质中分成不同的队列排队。在承载 OTN 网络中，采用一个 OTN 设备作为控制节点，其他节点作为从节点的方式组网，从节点统计完汇聚上来的业务后，向控制节点申请带宽。控制节点通过联合带宽分配机制统一分配带宽。提出的联合带宽分配机制解决了不同业务带宽需求不同的问题及低等级业务要求公平性的问题。

1 PTN 与 OTN 联合组网

将网络中业务的不同服务等级简化分为常见的加速转发（expedited forwarding，EF）、确保转发（assured forwarding，AF）、尽力而为的转发（best-effort，BE）三等，下面以此为基础介绍联合组网时的带宽分配机制。

利用 PTN 汇聚节点挂载在 OTN 环对应的 OTN 设备上，PTN 的物理层采用 OTN 技术传送业务。PTN 技术支持区分业务，在不同层次上支持 QoS，这里在 PTN 设备中可以通过不同标签标记不同的服务等级[3~4]，EF，AF，BE 业务在 PTN 汇聚节点弹出标签后，根据标签所代表的不同服务等级，分别承载在不同波长或不同时隙上，传送到对应的 OTN 设备中。采用不同波长 λ_1，λ_2，λ_3 分别承载 EF，AF，BE 业务（如图 1 所示），不同服务等级在不同队列中排队。通过 OTN 环上的控制节点为每个从 OTN 节点分配了带宽之后，各个 OTN 节点就可以为本地各个等级的业务分配带宽了。

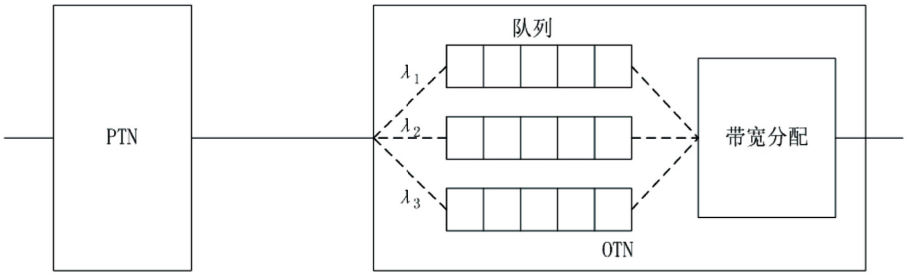

图 1 基于波长的区分服务等级
Fig. 1 Differentiate service levels based on wavelength

问题分析采用如图 2 所示简化联合组网模式，OTN 设备组建环形网络，构成传送网部分；PTN 设备作为汇聚设备，挂载在 OTN 设备上。其中，由 OTN 构成的环形网络中，有一个主节点（图 2 中标示为 Master）用于收集 OTN 环上各个 OTN 节点的业务流统计数据；其他 OTN 设备为从节点（图 2 中标示为 Slave），统计本地数据信息，上报给控制节点。

PTN 与 OTN 联合组网充分利用了 PTN 的多业务接入和小颗粒交换能力，以及 OTN 的大管道交叉能力。但是，OTN 提供的为刚性管道，当 PTN 汇聚上来的业务承载在 OTN 上时，其管道利用率会比较低。

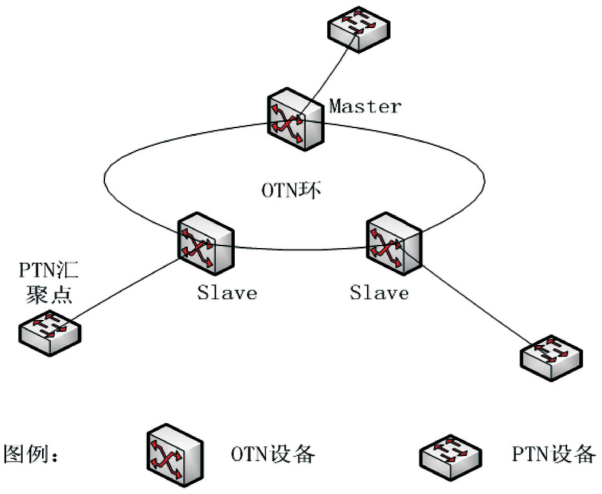

图 2 PTN+OTN 联合组网模式
Fig. 2 Joint networking mode based on PTN+OTN

2 联合带宽调整算法

对于 OTN 环节点，统计对应下挂的汇聚 PTN 设备传送来的各个等级业务的总量，包括本地流量总量 C_i^{T}，以及关键的 3 个参数：$C_{\mathrm{EF}}(i)$，$C_{\mathrm{AF}}(i)$，$C_{\mathrm{BE}}(i)$，即各个等级业务需要申请的带宽，其中，i 为 OTN 环上的第 i 个节点，i=1，2，3. OTN 环上的各个节点，包括控制节点，将各自的统计数据以信令的方式传送到控制节点。控制节点收集完所有节点的统计数据后，集中为 OTN 环上的每个节点分配带宽。假设 OTN 环上能够分配的带宽资源是 C，为不同的业务等级配置不同的带宽分配权限参数，其中 EF，AF，BE 对应的带宽分配权重分别为 λ_{EF}，λ_{AF}，λ_{BE}[5~6].

OTN 控制节点采用以下步骤为环上各个节点分配带宽：

1) OTN 环上从节点将 $C_{\mathrm{EF}}(i)$，$C_{\mathrm{AF}}(i)$，$C_{\mathrm{BE}}(i)$ 传送到控制 OTN 节点，对于不同的节点 i，控制节点采用式 (1) 为其初次分配带宽资源：

$$B_i^1=\frac{\lambda_{\mathrm{EF}}\times C_{\mathrm{EF}}(i)+\lambda_{\mathrm{AF}}\times C_{\mathrm{AF}}(i)+\lambda_{\mathrm{BE}}\times C_{\mathrm{BE}}(i)}{\sum_i[\lambda_{\mathrm{EF}}\times C_{\mathrm{EF}}(i)+\lambda_{\mathrm{AF}}\times C_{\mathrm{AF}}(i)+\lambda_{\mathrm{BE}}\times C_{\mathrm{BE}}(i)]}\times C, \tag{1}$$

其中，B_i^1 为初次带宽分配时 OTN 环上的第 i 个节点分配到的带宽资源；C 为本次带宽分配之前网络能提供的可分配带宽资源。

2) 初次带宽分配后，对于环上的第 i 个节点，各个不同等级的业务能分配到的带宽资源如下：

$$B_1^{\mathrm{EF}}(i)=\lambda_{\mathrm{EF}}\times B_i^1\times\frac{C_{\mathrm{EF}}(i)}{C_i^{\mathrm{T}}}, \tag{2}$$

$$B_1^{\mathrm{AF}}(i)=\lambda_{\mathrm{AF}}\times B_i^1\times\frac{C_{\mathrm{AF}}(i)}{C_i^{\mathrm{T}}}, \tag{3}$$

$$B_1^{\mathrm{BE}}(i)=\lambda_{\mathrm{BE}}\times B_i^1\times\frac{C_{\mathrm{BE}}(i)}{C_i^{\mathrm{T}}}, \tag{4}$$

其中，$B_1^{\mathrm{EF}}(i)$ 为环上第 i 个 OTN 节点的 EF 初次带宽分配后得到的带宽资源；$B_1^{\mathrm{AF}}(i)$，$B_1^{\mathrm{BE}}(i)$ 依次类推。

这里定义一个二值量 U_i^{EF}，U_i^{AF}，U_i^{BE}：

$$U_i^{\mathrm{EF}}=\begin{cases}1, & B_i^{\mathrm{EF}}<C_{\mathrm{EF}}(i),\\ 0, & B_i^{\mathrm{EF}}\geqslant C_{\mathrm{EF}}(i).\end{cases} \tag{5}$$

3) 更新 OTN 环上的可分配带宽资源 C'，以及环上剩余节点需要申请的带宽 $C_i^{\mathrm{T}'}$，

$$C'=C-\sum_i B_i^1. \tag{6}$$

4) OTN 控制节点进行对更新后的可分配带宽资源的二次分配。对于环上各个不同的节点、不同等级业务而言，如已经分得的带宽资源大于等于该节点上该业务需要申请的带宽资源，不再参与带宽二次分配；如已经分得的带宽资源小于该节点上该业务需要申请的带宽资源业务，则参与带宽二次分配[7]。其分配式如下：

$$B_i^2=\frac{\lambda_{\mathrm{EF}}\times U_i^{\mathrm{EF}}\times C_{\mathrm{EF}}(i)+\lambda_{\mathrm{AF}}\times U_i^{\mathrm{AF}}\times C_{\mathrm{AF}}(i)+\lambda_{\mathrm{BE}}\times U_i^{\mathrm{BE}}\times C_{\mathrm{BE}}(i)}{\sum_i[\lambda_{\mathrm{EF}}\times U_i^{\mathrm{EF}}\times C_{\mathrm{EF}}(i)+\lambda_{\mathrm{AF}}\times U_i^{\mathrm{AF}}\times C_{\mathrm{AF}}(i)+\lambda_{\mathrm{BE}}\times U_i^{\mathrm{BE}}\times C_{\mathrm{BE}}(i)]}\times C', \tag{7}$$

其中，$C_i^{\mathrm{T}'}=\lambda_{\mathrm{EF}}\times U_i^{\mathrm{EF}}\times C_{\mathrm{EF}}(i)+\lambda_{\mathrm{AF}}\times U_i^{\mathrm{AF}}\times C_{\mathrm{AF}}(i)+\lambda_{\mathrm{BE}}\times U_i^{\mathrm{BE}}\times C_{\mathrm{BE}}(i)$.

5) 经过带宽的二次分配后，如果网络的带宽资源还有剩余，那么 OTN 环上的控制节点重复步骤 3，4，继续进行带宽分配，直到环上已经分配出去的带宽资源达到了网络资源占用的限制条件[8]。

3 仿真结果

仿真平台的搭建采用如图 2 所示的拓扑结构，OTN 环上配置了 3 个节点，其中，1 号为控制节点，其余为从节点，线路速率为 10 Gb/s. 主要有时分多路转换（time division multiplex，TDM）和分组 2 种业务形态进入网络，TDM 业务为 EF 类型业务，分组业务有 AF，BE 类型业务，如以太网业务等。总共配置了 14 条业务，其中分组业务 10 条。分组业务的业务量分布均匀，平均大小为 1 Gb/s，TDM 业务每条的业务量恒定，均为 1 Gb/s，所以总共仿真的平均业务量为 14 Gb/s，而线路速率为 10 Gb/s，所以在业务突发度比较高的时期会有网络拥塞现象。

图 3、图 4 分别为基于联合带宽调整机制条件下，不同等级业务在网络中的时延及丢包率。由图 3 可以看出，在联合带宽调整机制下，3 种业务的整体时延处于比较低的水平，其中，EF 业务平均值为 4.35 ms，AF 业务的时延平均值为 4.50 ms，BE 业务的时延均值为 5.25 ms. 同时，3 个等级业务时延的抖动范围也不是很大。这是因为联合带宽调整机制优先保障高等级业务的需求，同时为不同业务配置权重，给予低等级业务可以接受的带宽资源。由图 4 可以看出，3 种不同等级业务的丢包率均维持在较低水平。图 5 为仿真过程中网络带宽资源利用率的平均水平，由图 5 可以看出，在联合带宽调整机制下，网络的带宽利用率比较好。

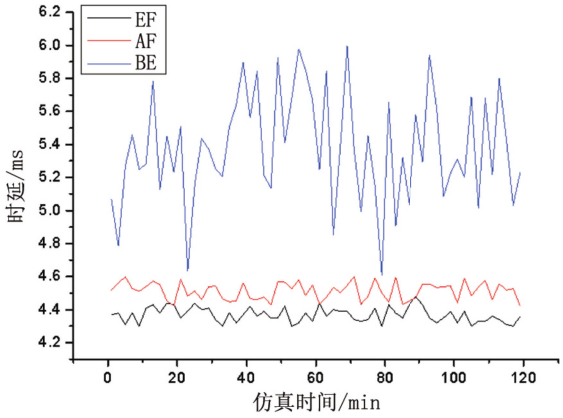

图 3 不同等级业务的时延
Fig. 3 Traffic delay of differentiate service levels

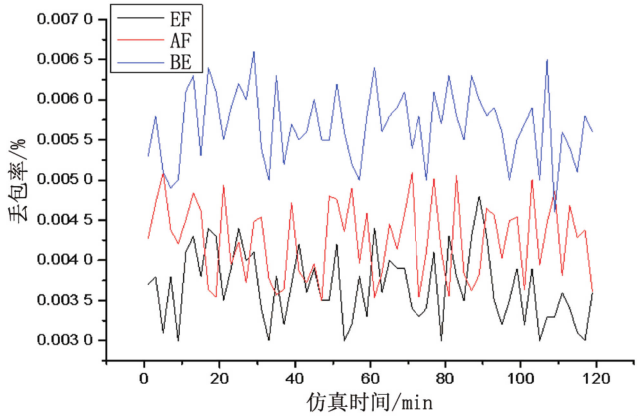

图 4 不同等级业务的丢包率
Fig. 4 Packet loss ratio of differentiate service levels

4 结论

这里给出了 PTN 与 OTN 联合组网模式下的优势与局限性，提出了联合带宽调整的机制。该机制利用 PTN 的 QoS 功能，在 OTN 环上控制节点对于不同服务等级的业务分配不同的带宽资源。仿真结果表明：机制在体现不同服务等级对带宽资源的差异化需求外，兼顾低等级业务的带宽需求，尽量避免饿死现象，使得各个等级的业务时延、丢包以及网络的吞吐量都有比较良好的表现，是一种比较适合运行在 PTN 与 OTN 联合组网环境下的带宽调整机制。

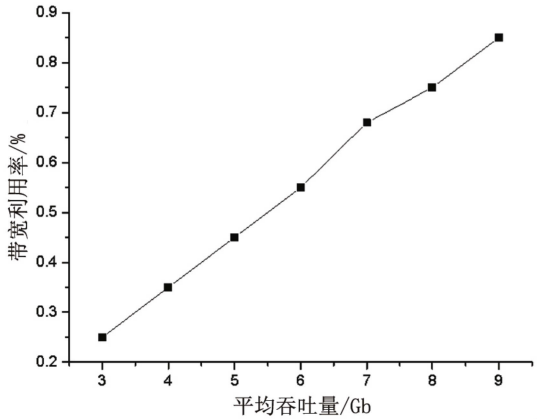

图 5 带宽利用率
Fig. 5 Bandwidth efficiency

[参考文献] (References)

[1] ZHANG Y, YANG J L. Design and research on PTN technology in local transport network[C]//ZHANG Y. Communication Software and Networks 2011 IEEE 3rd International Conference. Xi'an, 2011: 479-482.

[2] IETF, RFC5921—2010. A framework for MPLS in transport networks draft-ietf-mpls-tp-framework-12[S]. 2010.

[3] IETF, RFC5960—2010. MPLS transport profile data plane architecture draft-ietf-mpls-tp-data-plane-04[S]. 2010.

[4] IETF, RFC6375—2012. A packet loss and delay measurement profile for MPLS-based transport networks draft-ietf-mpls-tp-loss-delay-profile-04[S]. 2012.

[5] TU X D. A class schedule based on the fair round robin scheduling algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2001,9(29): 35-37.

[6] 林闯, 李寅, 万剑雄. 计算机网络服务质量优化方法研究综述[J]. 计算机学报, 2011, 34 (1): 1-14.
LIN C, LI Y, WAN J X. Summary of optimization research on quality service of computer network[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(1):1-14. (in Chinese)

[7] 钱正德. 应用加权公平队列的动态 QoS 调度架构性能分析[J]. 上海师范大学学报, 2010, 39 (6): 600-605.
QIAN Z D. Application of dynamic QoS weighted fair queuing scheduling architecture performance analysis[J]. Journal of Shanghai Normal University, 2010, 39(6): 600-605. (in Chinese)

[8] RUI C, ZHANG Y J, CAO C. Clock synchronization in T-MPLS network via PTP[C]//RUI C. Communications and Photonics Conference and Exhibition. Shanghai, 2009: 1-2.