

# 光弹性分组环节点光分组的组装及时延分析

王 崴<sup>1</sup> 吴重庆<sup>1</sup> 魏 斌<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 北京交通大学理学院, 北京 100044; <sup>2</sup> 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

**摘要** 分析了光弹性分组环(ORPR)网络中流量成型时光分组组装算法,提出一种适合 ORPR 网络的基于控制发送时间的光分组组装算法,并给出了该算法的算法结构。该算法在混合门限组装算法的基础上,通过增加一个控制分组发送间隔的参数,使得光分组单位时间内流量的突发性被平滑,并可以保证 ORPR 网络的服务质量(QoS)性能,适合于使用容量有限光缓存的 ORPR 网络。对 ORPR 节点光分组平均组装时延进行了详细的分析,新算法通过对分组发送间隔的调整,使在不同负载条件下,组装时延的概率分布基本相同。在 ORPR 中,平均组装时延的稳定对 ORPR 网络的 QoS 性能和公平性调度有重要意义,而发送时机的合理选择,可以保证 ORPR 网络的 QoS 性能以及公平性。仿真结果表明,新算法使得 ORPR 网络中的光分组平均组装时延相对稳定,在大多数情况下,可以保证 ORPR 网络的调度要求。

**关键词** 光通信; 光分组组装; 仿真; 时延

**中图分类号** TN929 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092904.0897

## Assembly and Delay Analysis of Optical Resilient Packet Ring on Packets Encapsulation

Wang Qin<sup>1</sup> Wu Chongqin<sup>1</sup> Wei Bin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044 China

<sup>2</sup> School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

**Abstract** Optical packets assembly algorithm is analyzed when traffic shapes in an optical resilient packet ring (ORPR) network and a new algorithm is proposed for ORPR network by controlling the time in transmission. The algorithm is based on a hybrid threshold assembly algorithm. It adds a parameter to control the interval between optical packets so that the traffic in each time unit is smoothed. It also ensures the quality of service (QoS) performances of the network and fits for the ORPR network with limited optical buffer. The average assembly time-delay of optical packets is analyzed in detail. By adjusting the interval of packet transmission in the new algorithm, we obtain about the same distribution of assembly time-delay under different traffic loads. The stable packets average assembly time-delay is very important to QoS and fairness of ORPR. Choosing the good timing for packet transmission is one of the keys to ensure the QoS and fairness of the ORPR. Simulation results demonstrate that the new algorithm gives a relatively stable packets average assembly time-delay and dispatching is satisfied in most situations in the ORPR network.

**Key words** optical communication; optical packets encapsulation; simulation; time delay

## 1 引 言

弹性分组环(RPR)网络是一种包交换环状网络,作为城市区域网络(MAN)的解决方案,得到广泛的应用,在节点完全或部分使用全光交换技术的

光弹性分组环(ORPR)网络中,继承了 RPR 网络的优异性能,又可有效地提高网络的吞吐性能,克服了电交换的 RPR 节点进一步提高网络速度的瓶颈,具有显著的优点<sup>[1]</sup>。

**收稿日期**: 2008-08-26; **收到修改稿日期**: 2008-10-15

**基金项目**: 国家 863 计划(2007AA01Z270)和国家自然科学基金(60577020,60672004)资助课题。

**作者简介**: 王 崴(1972—),男,博士研究生,主要从事光通信和光缓存等方面的研究。E-mail: 02110223@bjtu.edu.cn

**导师简介**: 吴重庆(1944—),男,教授,博士生导师,主要从事光纤通信和全光网络等方面的研究。

E-mail: cqwu@bjtu.edu.cn (通信联系人)

报文端对端传送时延是一个网络服务质量(QoS)的重要指标<sup>[2]</sup>,RPR环是一个基于缓存器调度的分组交换网络,在RPR节点中使用光缓存技术后,由于光缓存器与电缓存器有很大的不同,导致报文端对端传送时延性能发生很大的变化<sup>[3]</sup>。同时,越来越多的光分组业务都呈现强烈的突发性,而且在各种时间尺度上还呈现一种自相似性<sup>[4,5]</sup>。因此,ORPR网络节点的光分组组装算法对传送时延十分关键。目前已经提出的光分组组装算法和方案主要有3种,基于时间门限组装、基于长度门限组装和基于混合门限组装<sup>[6]</sup>。本文在深入分析分组组装算法和ORPR特点的基础上,提出一种基于适合于ORPR网络的光分组组装算法,并具体分析了该算法产生的时延。

## 2 ORPR 光分组交换网络节点结构

ORPR网络节点的主要功能是将其他节点送来的光分组在光域上实现高速率的转发,同时将终端用户发送来的各种低速的电光数据业务匹配到高速的ORPR环网中。这部分功能主要包括分组的组装、格式转换、路由协议解析和电光变换等。图1给出了ORPR节点模型示意图。ORPR节点在报文的转发通路上使用全光缓存器,以便减少光电光转换的中间环节。上下路数据缓存器仍使用电缓存器,以便简化结构。报文流量在节点前端进行转发流量和下路流量的分离,在复用器(MUX)单元将在不同业务等级的上路流量进行组装,然后和转发缓存器中的转发流量合路。

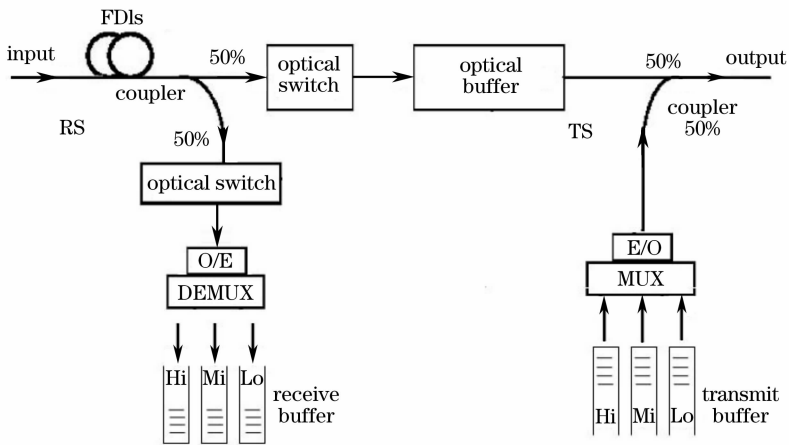


图1 光弹性分组环节点结构模型

Fig.1 Optical resilient packet ring node model

其中,MUX单元的数据组装过程如图2所示。节点将来自用户的IP包汇聚在一起,经过信头识别根据其包头中存储的源、目的地址、业务类型等相关信息,将其通过Switcher转发至相应的组装队列中。组装队列根据分组的目的地、业务类型以及优

先级种类综合设置。在调度算法的控制下,采用一定的组装算法或触发条件将组装队列中的数据封装成净荷部分,再加上分组头就构成了封装后的全光分组,然后送入发送缓存等待合适的时机发送到ORPR网络上。

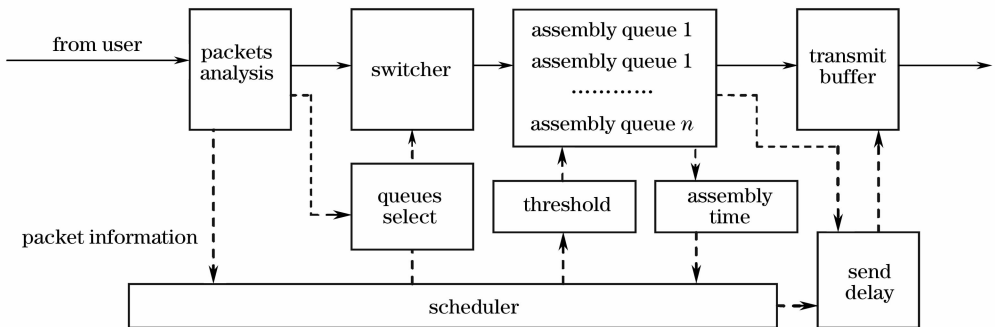


图2 组装单元结构

Fig.2 MUX unit structure

### 3 ORPR 节点中光分组组装算法

光分组组装算法和方案目前主要有 3 种,基于时间门限组装算法、基于长度门限组装算法和基于混合门限组装算法。基于时间门限组装算法有利于改变组装的平均延迟,控制分组组装时间,但不利于分组长度的控制,分组长度的变化会导致下游转发节点缓存的设置困难,因此不适合于小缓存的 ORPR 网络;基于长度门限组装算法能够平滑数据包长度的变化,将数据包长度约束在长度门限附近,保持常数,但是其无法控制分组的发送平均延迟,同时在负载与分组长度/分组发送延迟相等的情况下,长度门限组装机制也无法控制网络流量的自相似性。因此,不能满足 ORPR 网络的 QoS,且会导致 ORPR 网络的调度困难;基于混合门限组装算法是基于时间门限算法与基于长度门限算法的折衷,可以较好的同时控制分组长度和组装延迟<sup>[7~9]</sup>,但由于 ORPR 网络中节点转发缓存使用光缓存,容量较小,需要在分组发送时实施精确的调度。因此,在设计 ORPR 节点光分组的组装算法时,需要从两方面综合考虑:一方面需要平滑数据包长度变化的突发

性,另一方面需要调整单位时间内的数据流量的突发性<sup>[10,11]</sup>,即调节数据包的发送时机。在混合门限算法的基础上,通过引入一个新的参数——分组发送延迟控制参数(此参数与时间门限组装机制没有关系,而是旨在控制已经组装好的分组的发送时机),利用 ORPR 调度算法传来的分组预测发送时间参数来动态调整时间门限,使得分组在信道上的流量尽量均匀,达到抑制网络流量自相似的目的。

ORPR 光分组组装算法引入了发送时间预测来指导数据业务的组装过程,同时增加信道统计结果作为约束条件来指导数据包组装门限的调整。由于要保证业务的 QoS,因此针对  $i$  种不同的业务引入了相应业务等级的允许最大延迟  $T_{MDi}$ ,而最大组装延迟  $T_{MAi}$  为业务允许最大延迟  $T_{MDi}$  与网络传送延迟  $T_{ETEi}$  的差, $T_{ETEi}$  为网络传输延迟的实时统计量。信道统计的过程主要是采集信道的局部时间片(该时间片以当前网络负载情况下,最大缓存队列在时间上的描述为调整粒度)的负载率  $L_{TS}$ ,并利用其指导组装后分组的长度和时间门限。具体算法如图 3 所示。

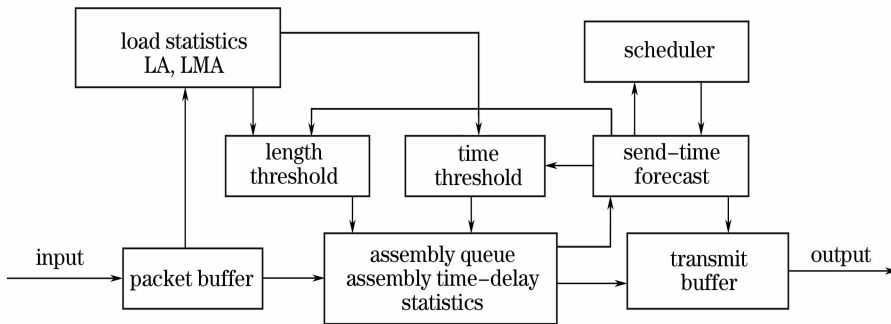


图 3 光弹性分组环光分组组装算法框图

Fig. 3 Optical packets assembly algorithm in ORPR

对进入组装入口的分组流量进行采集,统计流量均值 LA 和滑动平均值 LMA,并比较 LMA 围绕 LA 波动的情况,根据 LMA 和 LA 的偏离以及由 ORPR 公平性算法和调度算法计算的分组发送预测时间共同动态调整长度门限 LTH 和时间门限 TTH。组装队列根据调整后的时间组装门限和长度组装门限来控制组装分组的生成,并统计每个分组的组装延迟 TA。组装后的分组将发送给分组发送缓存,发送缓存队列按照分组发送预测时间参数和分组组装延迟,调整分组的发送时间,同时统计发送的数据流量,并反馈给调度算法。根据满足 QoS 的最大允许延迟、分组组装延迟和公平性算法预测的端到端延迟计算出允许的最大延迟,并根据与预

测发送时间的比较结果进行门限的调整。

### 4 光分组组装的时延分析

光分组组装时延产生于组装队列中,该时延的大小与组装时间门限,组装长度门限以及网络负载高度相关。光分组组装延迟对于 ORPR 网络的 QoS 性能和公平性调度具有很大的影响。在组装算法中,需要统计分组组装延时,反馈到发送时间预测模块,以调节光分组的发送时机和组装门限。

假设 ORPR 网络节点共有 8 个,3 种业务等级,1 个波长信道,且各节点等概率发送数据业务到其他节点,则节点共需要 21 个组装队列。各节点内部组装算法的门限设置方法相同,输入的数据业务符

合自相似分布, Hurst 指数为 0.8, 数据包的大小在 40~1500 个字节, 对应 TCP/IP 在 Internet 中传输时的数据包长范围。

图 4(a) 显示了采用混合组装算法时, 保持长度门限不变, 时间门限  $T$  改变, 平均组装时延与负载的关系。可以看出, 光分组平均组装时延与负载高度相关, 负载越大, 组装时延越小。且随着负载的增大, 时间门限对组装时延的影响逐渐变弱, 这是因为在网络流量负载增大时, 大多数光包是因其长度满足条件产生的。但在轻载荷条件下, 时间门限对平均组装时延的影响增加了很多。图 4(b) 则描述了

在采用混合组装算法时, 归一化时间门限  $T$  值不变而归一化长度门限  $L$  取不同值时, 平均组装时延对负载的依赖性。在轻负载情况下, 平均组装时延受长度门限的变化较大, 随着负载增大, 平均时延受归一化长度门限的变化减弱。可以看出, 在轻负载下, 同一条件下时间门限对平均时延的影响更强; 在重负载情况下, 平均时延的变化主要是由长度门限变化引起的。通过对图 4(a) 与图 4(b) 对比发现, 混合组装算法中光分组的平均组装时延受长度门限  $L$  的影响力强于归一化时间门限  $T$ 。

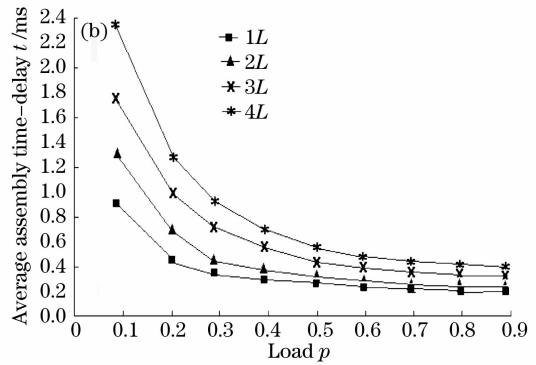
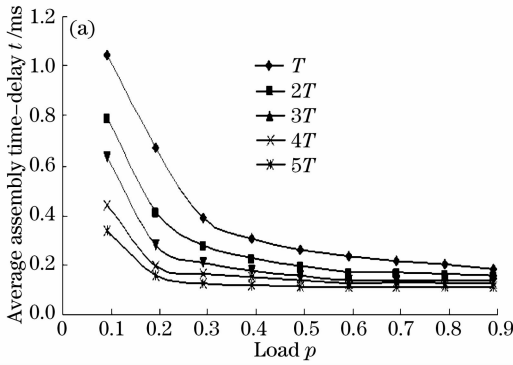


图 4 平均组装时延与负载的关系曲线。(a) 不同  $T$  时; (b) 不同  $L$  时

Fig. 4 Average assembly time-delay and load. (a) Time threshold changes; (b) length threshold changes

图 5(a) 显示了基于长度门限组装算法 (LTAA) 不同负载下光分组组装时延的概率分布图。从组装时延分布图上可以看出, 虽然基于长度门限组装算法能非常好的控制数据长度, 但是, 数据包组装延迟却随着线路负载的变化有很大的变化, 尤其是在负载比较低的情况下, 肯定会超过 QoS 的容忍极限。因此 LTAA 算法是无法用于需要保证 QoS 的网络业务的。虽然基于时间门限组装算法能严格控制组装时间, 但是, 其产生的分组长度也随

着负载的变化, 在非常大的范围内剧烈变化, 造成调度困难。图 5(b) 显示了新组装算法不同负载下, 光分组组装时延的概率分布图。可以看出, 新算法在各种负载条件下 (除负载极轻时), 时延的概率分布基本相同, 且相对于基于长度门限组装算法, 时延明显减小。这可以满足 ORPR 网络的 QoS 性能。同时, 不同负载情况下相对稳定的时延概率分布, 有利于 ORPR 网络的调度, 公平性算法和拥塞控制, 对于缺乏缓存的网络尤为重要。

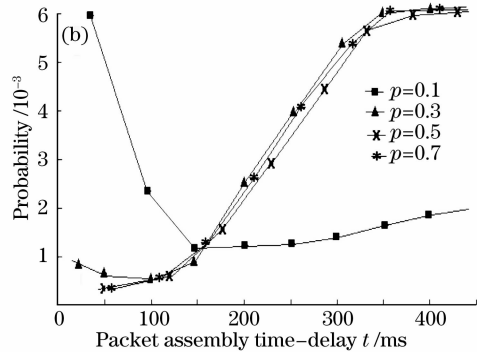
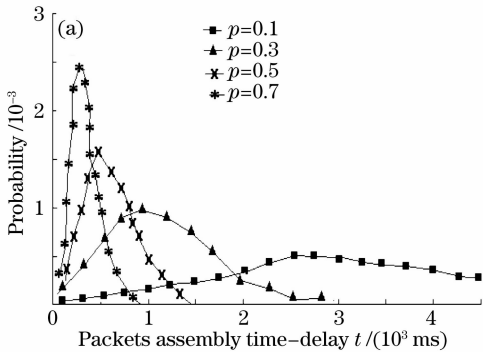


图 5 组装时间分布。(a) 基于长度门限组装算法; (b) 新组装算法

Fig. 5 Distribution of packets assembly time-delay. (a) Length threshold algorithm; (b) new algorithm

## 5 结 论

研究了 ORPR 节点中光分组组装技术, 提出一种适合 ORPR 调度机制, 且能满足 QoS 的光分组组装算法, 并分析了平均分组组装时延。该算法通过分组发送间隔的调整, 可以保证网络的 QoS 性能, 且使在不同负载条件下, 组装时延的概率分布基本相同。在 ORPR 中, 平均组装时延的估算对决定分组的发送时机有着重要意义, 而发送时机的合理选择, 可以保证 ORPR 网络的 QoS 性能以及公平性。仿真结果表明, 新算法使得 ORPR 网络中的光分组平均组装时延相对稳定, 在大多数情况下, 可以保证 ORPR 网络的调度要求。

### 参 考 文 献

- 1 Wu Chongqing. Optical resilient packet ring based on all-optical buffering techniques [C]. Proceedings of ICO20: Optical Communication, 2006. 2516~2516
- 2 Peng Peng, Wu Chongqing, Tian Changyong *et al.*. Parallel buffering of dual-wavelength packets data [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5): 835~839  
彭 鹏, 吴重庆, 男昌勇 等. 双波长数据包并行缓存[J]. *光学学报*, 2008, **28**(5): 835~839
- 3 Zhang Lijun, Wu Chongqing, Li Yajie. Novel read/write independently controlled all-optical buffer based on dual-semiconductor optical amplifier[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11): 1945~1949  
张立军, 吴重庆, 李亚捷. 基于双半导体激光放大器的读/写分别控制的新型全光缓存器 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(11): 1945~1949
- 4 Crovella M, Bestavros A. Self-similarity in world-wide web traffic: evidence and possible causes [C]. Proceedings of the ACM SIGMETRICS 96, 1996. 160~169
- 5 Beran J, Sherman M, Taqu S. Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic [C]. *IEEE/ACM Transactions on Communications*, 1995, **3**(43): 1566~1579
- 6 S. Y. Oh, M. Kang. A burst assembly algorithm in optical burst switching networks [C]. Proceedings of OFC 2002, 2002. 771~773
- 7 Dong Zuoren, Xia Zhiping, Qin Shibo *et al.*. Analyses and experimental study of a  $N \times N$  optical switch using two-facet reflective mirrors [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 234~238  
董作人, 夏志平, 秦世博 等. 基于双面反射镜的  $N \times N$  光开关的特性分析和实验研究 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 234~238
- 8 Ma Xiaohui, Wan Chunmin, Shi Quanlin *et al.*. Fiber-coupled high power laser diode by polarization multiplexing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1343~1346  
马晓辉, 万春明, 史全林 等. 基于偏振复用技术的激光二仍管光纤耦合方法 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(10): 1343~1346
- 9 M. C. Yuang, J. Shil, P. L. Tien. QoS burststification for optical burst switched WDM networks [C]. Proceedings of OFC 2002, 2002. 17~22
- 10 Yantai Shu, Fei Xue, Oliver Yang *et al.*. The Impact of self-similar traffic on network delay [J]. *J. Computer Science and Technology*, 1999, (14): 585~589