

## 支持 QoS 的自适应门限复合光突发装配技术<sup>1</sup>

阳小龙\* \*\* 张敏\*\*\* 李乐民\*\*

\*(重庆邮电学院光通信研究所 重庆 400065)

\*\* (电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

\*\*\* (电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

**摘要:** 该文提出了一种新的光突发装配技术, 该技术由自适应门限突发装配算法和基于优先级的随机化的偏移时间设置方案构成。该装配算法特别适合于多类别分组混合装配, 能让所有类别的分组公平有效地使用装配能力, 能较好地与 IP 层的 QoS 机制相匹配。计算机仿真结果表明该文提出的光突发装配技术在性能上具有一定优越性。

**关键词:** 自适应门限, 光突发交换, 服务质量, 偏移时间

**中图分类号:** TN919.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)03-0459-07

## A Composite Optical Burst Assembly Technique Based on Adaptive-Threshold to Support QoS

Yang Xiao-long\* \*\* Zhang Min\*\*\* Li Le-min\*\*

\*(*Opt. Comm. Inst., Chongqing Univ. of Posts and Telecomm., Chongqing 400065, China*)

\*\* (*National Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, Univ. of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China*)

\*\*\* (*Dept of Computer Sci., Univ. of Electron. Sci. and Tech., Chengdu 610054, China*)

**Abstract** This paper proposes a new burst assembly technique for supporting QoS in Optical Burst Switching (OBS) networks. It consists of the adaptive-threshold burst assembly algorithm and QoS-based random offset-time scheme. The algorithm fits well the multi-class burst assembly, and not only matches with IP QoS mechanism based on packet classification, but also utilizes fairly and efficiently assembly capacity. The paper also provides the simulation for the performance improvement of the technique in Packet Loss Probability (PLP).

**Key words** Adaptive-threshold, Burst assembly, Optical Burst Switching(OBS), QoS, Offset-time

### 1 前言

随着 IP 数据业务的快速增长, 对网络传输和交换的要求就越来越高, 尤其是骨干网络。当前以 WDM 为基础的光突发交换 (OBS) 技术是最有前途的技术之一, 能有效地满足这些要求。作为一项具有广泛前景和技术优势的交换方式, OBS 技术已引起了国内外众多研究机构的关注。其中有关 OBS 网络 QoS 问题在业内越来越受到关注, 已成为 OBS 领域的热点研究课题。当前 OBS 网络 QoS 实现主要集中在访问控制协议 (单向资源预留协议) 以及光突发的竞争解决与避免的研究等方面, 还缺乏一个有效的、适应 OBS 特点的, 能与上层 (如 TCP/IP) QoS 方案相匹配的 QoS 实现机制。

<sup>1</sup> 2002-11-04 收到, 2003-01-28 改回  
国家 863 计划 (2002AA122021) 和信息产业部科技发展计划 (01XK511003) 资助课题

作为一种低层的传输及交换技术, OBS 能承载许多类型的上层应用。它如何像上层一样提供 QoS 保证, 现在较受关注。在 IP 网络中, 能以分组分类的方式实现 QoS。同样地, 相似的机制也可应用于 OBS 网络。本文将主要讨论如何通过光突发的装配方法及相关的机制(如: 自适应门限设置、偏移时间计算)来实现 QoS。

在文献 [1-3] 中, 光突发大多是按固定门限来进行装配的。很显然, 这种装配很难公平、高效地利用 OBS 网络边缘节点的光突发装配资源, 进而难以有效地进行业务整形和突发度平滑。本文提出一种自适应门限装配技术。这技术不仅能将多个类别的 IP 分组汇聚到一个突发中, 而且突发中每个类别的分组能根据输入业务的特性相应调整各自门限, 以构成相应类别的突发段。

在 OBS 网络中, 突发控制分组 (Burst Control Packet, BCP) 与相应的突发分组 (Burst Packet, BP) 在传输路径上是各自独立的, 它们仅在时间上有一定的先后关系, 即偏移时间 (offset-time)。也就是说在 BCP 完成传输后一段时间, 才启动 BP 传输。一种 OBS 预留资源方案 JET<sup>[4]</sup> (Just-Enough-Time) 就是基于这偏移关系来实现 QoS 的, 它是按照突发的优先级别给 BP 分配偏移时间的: 高优先级的分得较长的偏移时间, 以便能有更多的机会为 BP 预留资源。然而这个方案并不总是有效的, 比如当低优先级突发长度高于高优先级突发, 或突发长度变化较大时<sup>[1]</sup>。而且这个方案还有一个缺点, 即端到端的时延将随偏移时间的增加而增加, 尤其是高优先级突发。这些不足应归因于: 设置偏移时间时仅考虑到突发的优先级, 而没有考虑到突发中各突发段的类别差异, 更没有考虑到对业务的平滑和整形。因此, 这方案的 QoS 支持能力还是相当有限的。本文提出一种随机化的基于 QoS 的偏移时间设置方案。它将 BCP 与 BP 间的偏移时间分成 QoS 偏移和随机偏移两个部分, 前者按照改进后的 JET 方案来计算, 后者则依据令牌桶模型来设置<sup>[5]</sup>。对 JET 的改进在于采用 BSSD (Burst Segment Selective Discard) 机制。

## 2 自适应门限多类别光突发装配技术

现描述一下光突发装配的整个过程, 如图 1 所示。输入 IP 分组根据源 - 目的地址对、QoS 属性(比如: 分组丢失率、时延限制以及带宽保证)分类, 并暂存在各自缓存器里, 然后再根据分组类别与突发优先级的映射关系被交换到相应优先级的突发装配队列里。当突发装配队列满足一些条件, 比如突发长度或装配时间, 立即生成一个 BCP, 然后经过适当的偏移时延后, 对应的突发数据组装成帧并注入到 OBS 网络。

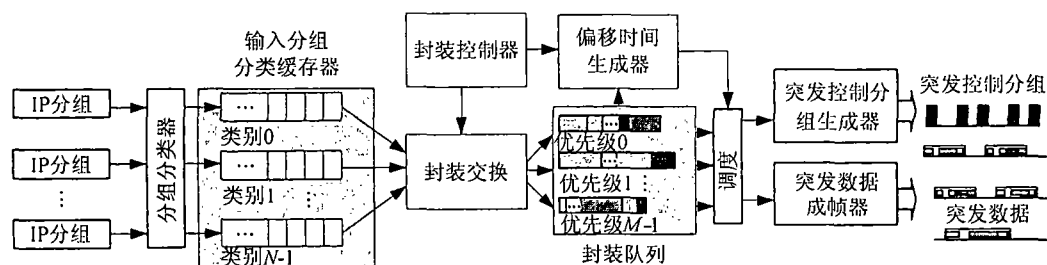


图 1 光突发装配的主要功能部件及装配过程

在这装配过程中, 应关心的问题是: 一个突发中能汇聚多少 IP 分组? 若考虑到 IP 的类别和突发的优先级, 那么如何合理、有效地建立分组类别与突发优先级间的映射关系? 何时生成一个 BCP 以及如何设置 BCP 与 BP 间的偏移时间, 即何时将 BP 送入 OBS 网络? 对这些基

本问题, 作为一种光突发装配技术应能给予很好地解决。此外, 还应关注资源的公平、高效的使用。下面我们将讨论这些问题。

### 2.1 自适应门限调整算法

假设输入分组的类别数为  $N$ , 光突发的优先级数为  $M$ 。为不失一般性, 通常  $N \geq M$ 。因为在光域中数据处理能力及灵活性都不及电域的强, 所以光突发的区分处理就不可能像电域分组分类那么细腻, 不然的话, OBS 网络节点将相当复杂。这里先定义如下几个参数:  $L_k^{(\text{Total\_max})}$ : 第  $k$  级突发的最大长度;  $L_k^{(\text{Total\_min})}$ : 第  $k$  级突发的最小长度;  $L_{k,j}$ : 在第  $k$  级突发中第  $j$  类突发段的门限;  $S_k$ : 能映射到第  $k$  级的分组类别集合。

自适应门限调整算法的主要出发点就是在提供区分服务的同时, 兼顾资源公平利用。这里讨论的突发装配, 能在任一优先级的突发里包含任一类别的分组, 但它每一类突发段必须满足各自的门限  $L_{k,j}$ , 以防止高类别的分组过度地强占低类别分组资源。对于第  $k$  级突发, 各类分组按以下条件分配突发装配能力 (这里, 装配能力用各类突发段的门限来衡量):

**条件 1** 哪些类别的分组可以装配到哪一优先级的突发里, 则按分组类别与突发优先级之间映射关系确定, 即

$$\begin{cases} i\text{-th Packet} \rightarrow k\text{-th Burst,} & i \in S_k = \left[ k \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor, (k+1) \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor \right) \\ i\text{-th Packet} \rightarrow (M-1)\text{-th Burst,} & i \in S_{M-1} = \left[ M \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor, N \right) \end{cases}$$

这里  $k = 0, 1, \dots, M-1$ , 其中  $\lfloor \cdot \rfloor$  代表下取整。

**条件 2** 每类突发段的门限满足以下不等式:

$$\begin{cases} \text{Min}(L_{k,i}) \geq L_{k,j}, & i \in S_k, j \notin S_k \\ L_{k,i} \geq L_{k,j}, & i < j, i, j \in S_k \\ \text{Min}(L_{k,i}) \geq \text{Max}(L_{k,j}), & i \in S_m, i \in S_n, m < n \end{cases}$$

**条件 3** 在第  $i$  级突发里所有类别的突发段门限总和应满足突发长度限制, 即

$$L_i^{(\text{Total\_min})} \leq \sum_{j=0}^{N-1} L_{i,j} \leq L_i^{(\text{Total\_max})}$$

在突发装配过程中, 每类突发段的门限应随各类输入分组的业务强度自适应变化。这门限调整过程包含以下情形:

**情形 1** 门限无变化: 即每类分组按照前面分配的门限进行装配。

**情形 2** 扩展高类别突发段门限: 即当某一类别分组的负荷较轻, 使之预先分配给它的装配能力超过了它实际需要。若此时分配给高类别分组的能力不足, 则将低类别的过剩能力在高类别分组间按类别从高到低再分配。

**情形 3** 扩展低类别突发段的门限: 即当某一类别分组的负荷较重, 而且分得的装配能力又远远不能满足需要。若此时没有哪一低类别的分组有过剩能力, 则该类别可以临时地从高类别分组那里借用其过剩能力。

这门限的调整过程反映了各类分组业务特性的变化, 这样各类分组间就能公平、有效地利用突发装配能力。

### 2.2 基于 QoS 的随机化偏移时间设置

BCP 与 BP 间的偏移时间可以作为一种重要的 QoS 参数, 它的大小决定了资源预留成功与否的概率大小。因此, 在许多 QoS 实现方案中, 如 JET<sup>[4]</sup>、LAUC-VF<sup>[3]</sup> 等, 都是基于偏移时间的, 而且都是按照突发优先级高低次序分别设置大小不等的偏移时间, 以此来隔离不同类别的业务。但是它们没有考虑业务整形和突发度平滑, 从而导致突发间的传输时间相互重叠的可能性较大, 进而突发丢失率较高。为避免该问题, 文献 [5] 提出了一个基于令牌漏桶模型的偏

移时间设置方案。这里，偏移时间具有一定随机性，能较大程度地减少突发传输冲突。但是它设置的偏移时间大小与业务的类别或优先级无关，因此 QoS 支持能力较弱。从这两类方案看出，优先级偏移设置与随机偏移时间设置对增强 QoS 支持能力具有同样的重要性。由此，本文提出了一种基于优先级 / 类别的随机偏移时间设置方案。该方案将 BCP 与 BP 间的偏移时间分成 QoS 偏移和随机偏移两个部分。它的实现如图 2 所示，BP 的传输调度由两个部件完成，即令牌漏桶和基于 BSSD 的优先级 / 类别偏移时间产生器。

现先讨论 QoS 偏移的设置。若按照 JET 来设置偏移时间，通常高优先级的突发获得较大的偏移时间，以减少其突发丢失率，但这是牺牲低优先级突发为代价的。显然，这种 QoS 机制不适用于前面讨论的多类别混合装配情形。为了克服这种不足，可以从竞争解决入手，结合前面的自适应门限调整算法的动态特性，对 JET 偏移设置方案进行适当修正。

为讨论简单，假定突发仅有两个优先级，而且参加装配的分组也仅有两个类别，分别用  $h$  或  $l$  表示。如图 3 所示，当  $t_{s,l} \leq t_{s,h} \leq t_{s,l} + L_l$  或者  $t_{s,h} \leq t_{s,l} \leq t_{s,h} + L_h$  时，必然发生突发传输冲突。若按照文献 [2, 4, 6] 的竞争解决方法，此时就会丢弃整个低优先级突发或其中某些突发段，却不管是否丢弃的突发或突发段中是否含有高类别的分组。这里，提出一种 BSSD 机制。这机制不同于文献 [2] 的突发分段 (Burst segmentation) 机制和文献 [6] 的突发丢弃机制 (Burst drop)，而它丢弃某一突发段时同时兼顾竞争突发的优先级和传输时间相互重叠的突发段的类别。因此，如图 3(a) 中阴影所示，有可能丢弃高优先级突发中的某些低类别突发段。按照 BSSD 机制，QoS 偏移时间能根据突发里装配的分组类别自动调整，并可以随输入业务特性的变化而变化。

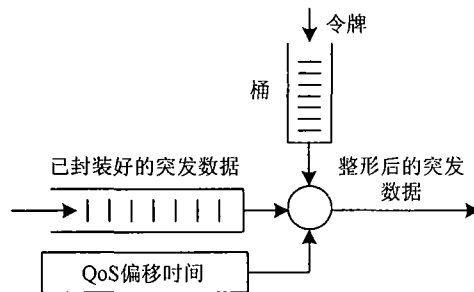


图 2 建议的偏移时间设置方案的实现

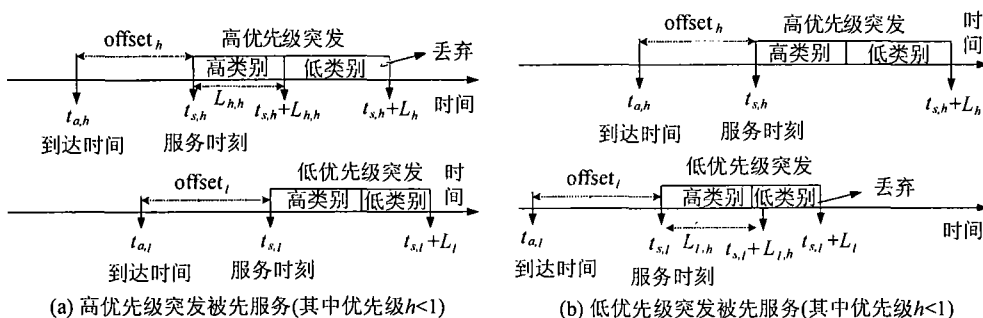


图 3 基于 BSSD 机制的 QoS 偏移时间设置示意图

根据 BSSD 基本思想, 当突发段传输时间重叠时, 仅需丢弃低类别突发段, 因此为了保证高类别分组的 QoS, 则应尽可能避免发生高类别突发段传输时间的重叠. 现考虑两种情形 (如图 3 所示): 一种为  $t_{s,h} \leq t_{s,l} \leq t_{s,h} + L_h$ , 即高优先级突发先服务; 另一种为  $t_{s,l} \leq t_{s,h} \leq t_{s,l} + L_l$ , 即低优先级突发先服务. QoS 偏移时间可按以下不等式设置:

$$\begin{cases} \text{offset}_l \geq \text{offset}_h + t_{a,h} + L_{h,\text{high}} - t_{a,l}, & t_{s,h} \leq t_{s,l} \leq t_{s,h} + L_h \\ \text{offset}_l \leq \text{offset}_h + t_{a,h} - L_{l,\text{high}} - t_{a,l}, & t_{s,l} \leq t_{s,h} \leq t_{s,l} + L_l \end{cases}$$

其中  $\text{offset}_h, t_{a,h}, L_{h,\text{high}}$  分别表示第  $h$  级突发的偏移时间、到达时刻、高类别突发段的长度,  $\text{offset}_l, t_{a,l}, L_{l,\text{high}}$  则分别表示第  $l$  级突发的类似参数.

至于随机偏移时间的设置, 则采用基于令牌漏桶模型的方法, 如图 2 所示. 业务整形及平滑, 都是通过令牌的访问来实现的, 即只有握住令牌的突发才能注入到 OBS 网络中, 否则被延迟一段时间. 这延迟时间是随机的, 其概率分布由令牌到达时刻的分布决定. 令牌的产生遵从一定的规律, 如泊松 (Poisson) 随机过程, 而且产生速率接近突发装配速率. 当 BCP 与 BP 之间的时延小于 QoS 偏移时间, 或令牌的到达时刻落在前一个 BP 的传输时间内, 或令牌到达时没有准备好的 BP, 这些令牌是无用的, 将被忽略, 如图 4(b) 中没有加圈的令牌. 在这模型中, 为减轻令牌积累效应和加快对业务特性变化的反应速度, 漏桶的深度设为 1 较好.

这样在经过 QoS 偏移和随机偏移时间的调度后, 比较图 4(a) 与 4(c), 可知: 从长远来看, 突发将以接近突发装配速率的平均速率, 并以可控的方式注入网络.

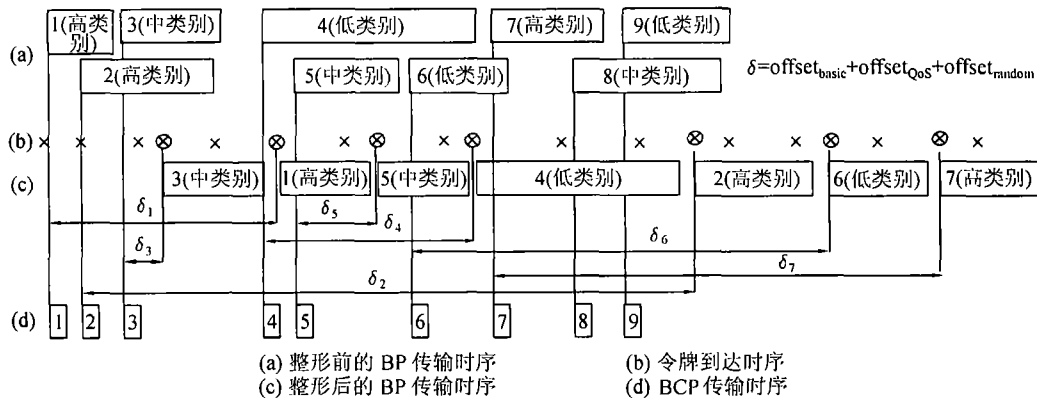


图 4 偏移时间的设置及对突发传输的调度过程

### 3 性能仿真分析

为评估该装配技术的效率, 这里以分组丢失率 (PLP) 为衡量指标, 因为 PLP 最能反映该技术对上层 IP QoS 机制的匹配程度. 按如下方式建立仿真环境: 分组的到达服从泊松分布; 每类分组的业务强度为  $\lambda_i (i = 0, 1, \dots, N - 1)$ , 其值为总输入业务强度归一化值, 并在  $[0, 1]$  内按正态分布; 为分析简便, 假设所有分组及突发都为定长; 突发中每类突发段的长度服从平均长度为  $1/\mu_i$  的指数分布,  $1/\mu_i$  为突发总长度归一化值, 在  $[0, 1]$  内服从正态分布. 简单地看, 突发装配过程可模拟为  $N$  个数据流到  $M$  个数据流的复用过程 ( $N \geq M$ ).

首先在多分组类别混合装配情形下, 比较自适应门限装配与固定门限装配对性能的改进. 为了重点考察突发装配带来的 PLP, 假设突发能无损失地传送到目的地. 在  $N = 3$  和  $M = 2$  情形下, 图 5 给出了 PLP 与输入业务强度的关系曲线. 总的来看, 不管是自适应方式还是固定方式, 高类别的 PLP 总是低于低类别的; 而且不管是总的 PLP 还是各对应类别的 PLP, 自

适应方式总是低于固定方式。从图 5 中可以观察到：当输入业务强度较轻时，自适应方式的某些低类别的 PLP 甚至还低于固定方式的高类别的 PLP。这表明自适应方式的性能优于固定方式，其原因在于自适应方式的每类突发段的门限自动地随相应分组类别的业务强度变化，从而在各类分组间公平高效地使用装配能力。

下面将 BSSD 机制与文献 [4] 的传统突发丢弃机制、文献 [2] 的突发分段机制和文献 [6] 的突发丢弃机制相比较。假定装配能力足够，而不会出现因装配能力不足导致分组丢失。从图 6 中可以观察到：文献 [2, 6] 的机制均优于文献 [4] 的，BSSD 最好。BSSD 的优越性得益于它同时兼顾突发的优先级和突发段的类别，以致仅丢弃低类别的突发段。而文献 [2, 6] 优于文献 [4] 的原因在于它们仅丢弃某些突发段，而不是像文献 [4] 那样丢弃整个突发。

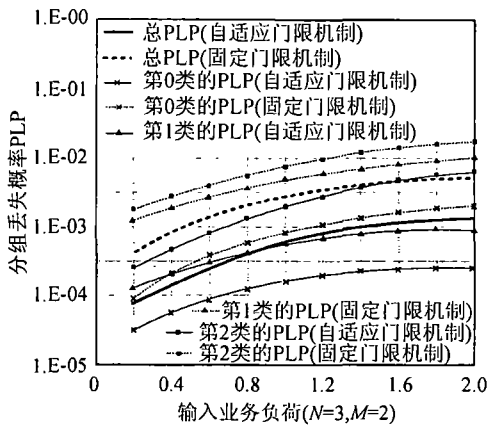


图 5 自适应门限与固定门限装配的性能比较

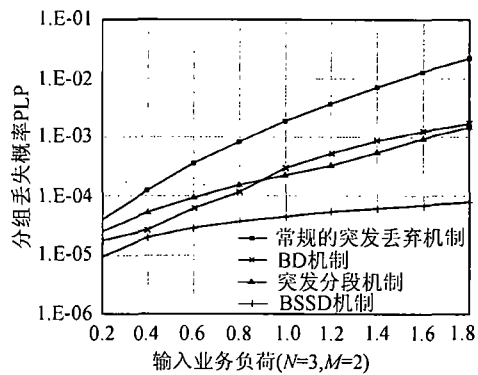
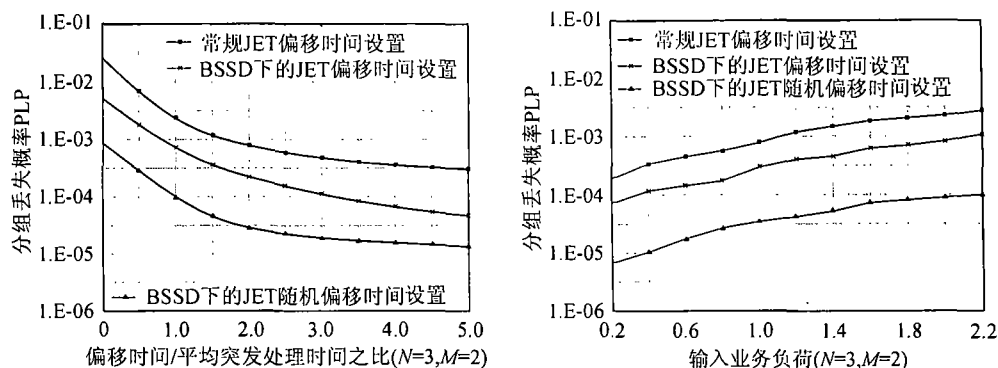


图 6 BSSD 机制与其它机制的性能比较

在本文中对于偏移时间的设置，是在 JET 的基础上进行了一些修正，并添加了一些措施（即 BSSD 和令牌漏桶）后完成的。这里，将评估这些措施对增强 OBS 网络 QoS 能力所带来的好处。评估将从两个方面进行：一是总的偏移时间（BCP 处理时间的归一化值）；二是承载能力（以可持续的业务强度来衡量）。从图 7(a) 可知：在相同 PLP 要求下，本方案（即同时施加两种措施）所需的偏移时间最小，然后依次是仅有 BSSD 的方案和标准 JET 方案（即没有施加任何措施）。这表明本方案对有效减少突发的传输时延，提高已预留资源的命中率具有一定的好处。从图 7(b) 可知：在相同的业务强度下，这些措施的实施对 PLP 的影响是相当大的，其中本方案的 PLP 最低。就是说，在相同 PLP 要求下，本方案承载能力最大，能承担较大的业务强度。

#### 4 结论

在 IP 网络中，可以基于分组分类实现 QoS。同样的思想也可以应用于 OBS 网络中，但是由于光域中光信息处理能力及灵活性都没有电域的强，因此在 OBS 网络中能支持的光突发类别就相当有限，致使其 QoS 支持能力较弱。为解决该问题，本文提出了新的光突发装配技术。该技术由自适应门限突发装配算法和基于优先级的随机化的偏移时间设置方案构成。它能将多个类别的分组装配于一个突发中，而且能根据每类分组的业务特性，将总的装配能力自适应地分配到各分组类别之中，并能按照突发里装配的分组类别自动调整 BCP 与 BP 间的偏移时间，在令牌漏桶的整形下使突发能以平滑方式注入 OBS 网络。通过仿真从分组丢失概率对该技术进行性能比较，最后得出：自适应门限装配比固定门限好；BSSD 与令牌漏桶机制对提高系统承载能力、减少传输时延大有帮助。该技术能有效增强 OBS 网络 QoS 能力。



(a) 各种方案在 PLP 与总的偏移时间关系上的比较 (负荷  $\rho = 0.4$ ) (b) 各种方案在 PLP 与输入业务强度关系上的比较 (偏移时间 / 平均突发处理时间 = 3)

图 7 建议的偏移时间设置方案与其他方案的性能比较

### 参 考 文 献

- [1] Dolzer K, Gauger C, Späth J, Bodamer S. Evaluation of reservation mechanisms for optical burst switching. *AEÜ Int. J. Electron. Comm.*, 2001, 55(1): 1-8.
- [2] Vokkarane V, et al.. Burst segmentation: an approach for reducing packet loss in optical burst-switched networks. Proc. of IEEE ICC'2002, New York City, April 2002, vol.5: 2673-2677.
- [3] Yijun Xiong, Vandenhoute M, Cankaya H C. Control architecture in optical burst-switched WDM networks. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(10): 1838-1851.
- [4] Yoo M, Qiao C. A new optical burst switching protocol for supporting quality of service. *SPIE Proc.* 1998, vol.3531: 396-405.
- [5] Verma S, et al.. Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone. *IEEE Network*, 2000, 14(6): 48-53.
- [6] Detti A, Eramo V, Listanti M. Optical Burst Switching with Burst Drop(OBS/BD): An Easy OBS Improvement. Proc. of IEEE ICC'2002, New York City, April 2002, vol.5: 2678-2691.

阳小龙: 男, 1970 年生, 博士生, 主要研究方向为 WDM 全光网络.  
 张 敏: 女, 1972 年生, 硕士生, 主要研究方向为计算机网络及信息安全.  
 李乐民: 男, 1932 年生, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向是信息传输与通信网.