

## 一种自适应光突发装配映射机制及性能仿真<sup>1</sup>

阳小龙\*\*\* 张敏\*\*\* 李乐民\* 王晟\*

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

\*\* (重庆邮电学院光通信研究所 重庆 400065)

\*\*\* (电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

**摘要:** 分组粗颗粒分类因有良好的扩展性,可作为 OBS(Optical Burst Switching)网络的 QoS(Quality of Service)实现基础。然而 OBS 网络因其固有限制而只能支持较少的突发优先级,因此 OBS 常采用多类别光突发装配技术。该文在粗颗粒分类基础上,提出了一种新的适用于这类装配的映射机制 TQ-Map,即确定某一优先级光突发可以装配哪些类别分组。自适应性是该机制的突出特点,主要体现在:映射关系能随各类分组的 QoS 要求和负载的改变而自动进行调整。仿真表明:TQ-Map 机制的自适应性能有效保证突发装配与上层 QoS 要求相匹配(以分组损失率为衡量指标)。

**关键词:** 突发装配,映射,光突发交换,服务质量(QoS)

**中图分类号:** TN929.1, TN913.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)05-0789-06

## An Adaptive Map Algorithm to Support QoS for Optical Burst Assembly

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

\*(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Net.,  
UEST of China, Chengdu 610054, China)

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

\*\*\* (Dept. of Computer Science, UEST of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract** Because of its scalability, the idea of coarse packet classification can be utilized to OBS network. However, due to the limited priorities supported by OBS networks, multi-class burst assembly technique is usually adopted. Hence, a novel map algorithm, i.e. TQ-map, is proposed, which can determine which classes of packets a priority burst can contain, and fit for the multi-class burst assembly. Its most important feature is adaptivity. Compared with S-map, TQ-Map can establish the map relations varying with both traffic condition and QoS requirement, and moreover allocates the burst assembling capacity between packets' classes fairly, efficiently and differentially. The only one purpose is to match the QoS requirements of high layer's applications. The simulation results show that TQ-Map can effectively achieve the purpose to support QoS.

**Key words** Burst assembly, Map, Optical Burst Switching (OBS), QoS

### 1 前言

在近年来,在 IP 网络如何为应用提供有效的 QoS 保证一直是一个研究热点。OBS(Optical Burst Switching)作为一种当前最具前景和技术优势的低层传输及交换技术<sup>[1-2]</sup>,其 QoS 的研

<sup>1</sup> 2003-01-23 收到, 2003-04-28 改回

国家 863 计划项目(2002AA122021)和重邮青年基金(A2003-09)资助课题

究同 IP QoS 的研究一样比较活跃。在 OBS 中, 与 QoS 相关的问题较多, 如: 光突发装配, 竞争解决, 访问协议等。这里, 我们主要讨论与光突发装配有关的 QoS 保证问题。

光突发装配实质是对高层数据流的汇聚过程, 当前有关光突发装配的讨论主要集中在单类别装配 (SCB)<sup>[2-7]</sup>, 即光突发装配中 IP 分组类别与光突发优先级是 1:1 的映射关系。很明显, 这类装配的可扩展性较差, 因为在 IP 层 IP 分组类别一般较多, 并可能超过 OBS 所能支持的优先级数目。根据 DiffServ 体系中<sup>[8]</sup>的粗颗粒分类思想, 该问题有两种解决办法: 一是  $N:1$  的改进型单类别装配 (E-SCB); 二是  $N:1$  的多类别装配 (MCB)<sup>[9-10]</sup>。它们都是一类突发承载  $N$  类分组, 但 E-SCB 每次只承载一类分组, 而 MCB 则每次同时承载  $N$  类分组。这里, 它们都涉及两个关键问题, 即一是某一优先级的光突发到底可以承载哪些类别的分组, 也就是分组类别与突发优先级的映射关系问题; 二是各级光突发的承载能力如何在承载分组类别间公平但有区分地分配。

在上述两个问题中, 其中后一问题的解决依赖于前一问题的解决, 因此分组类别与突发优先级之间的映射关系的确定是保证突发装配与上层 QoS 要求相匹配的关键。这种关系可以根据各类分组的负载情况、QoS 要求以及 OBS 边缘节点的处理能力等因素, 按静态方式或动态方式建立。静态方式, 如本文中提出的 Simplest-Map(简称为 S-Map), 虽然简单, 但是它不随各类分组业务的变化而变化, 因此难以高效地利用光突发的承载能力。通常, 输入负载状况、各突发能装配的分组类别数、OBS 网络状态都具有一定的时变性, 这就要求分组类别与光突发优先级间的映射关系是动态的、自适应的。本文在 DiffServ 粗颗粒分类基础上, 提出了一种动态映射机制, 即 TQ-Map(Map based on Traffic condition and QoS requirement)。该机制的突出特点就是自适应性, 其主要体现在: 映射关系能随各类分组的 QoS 要求和负载的改变而自动进行调整, 从而使各级突发的承载能力也自动地分配到各分组类别。这样, 一方面能以较优化 (在本文主要以分组损失率 PLP 为衡量指标) 的方式共享每类突发的装配能力; 另一方面能降低对光域数据处理的要求, 仅需较少的突发优先级就可明显增强 OBS 网络的 QoS 能力。仿真表明: TQ-Map 机制的自适应性能有效保证突发装配与上层 QoS 要求相匹配。

## 2 自适应光突发装配映射机制

首先假定分组类别多于突发优先级, 并且认为输入分组在进行突发装配之前, 已按照 QoS 要求进行了分类; 然后在一定装配机制的作用下, 将各类分组分别汇聚到各自合适的突发优先级封装队列里。一旦突发封装队列满足一些条件, 比如突发长度或封装时间, 就立即输出一个突发 (由突发分组头与突发数据组成)。这里, 某级突发可汇聚哪些类别的分组? 则是一个较关键的问题。下面我们将详细讨论如何解决该问题。

在讨论前, 先定义一些主要参数如下:  $N$  为输入分组类别的数目;  $M$  为 OBS 网络所能支持的优先级数目;  $\alpha_i$  为第  $i$  类分组的 QoS 因子;  $C_k$  为第  $k$  级突发每承载一个分组的效益;  $P_{i,k}$  为第  $i$  类分组汇聚到第  $k$  级突发的比例;  $Pb_k$  为第  $k$  级突发的分组丢弃概率;  $\lambda_i$  为第  $i$  类分组的到达速率;  $\mu_k$  为第  $k$  级突发的产生速率;  $L_{n,k}$  为第  $n$  类分组装配到第  $k$  级突发时的丢失概率。

在 OBS 网络中, 通常  $M$  小于  $N$ 。QoS 因子  $\alpha_i$  代表了该类分组的 QoS 要求的严格程度。对于有多种 QoS 要求的情形下, 可以将它们统一以非线性形式表示。在可靠服务环境里, 网络通常用重传或确认等机制来保证可靠性。在 OBS 网络中, 一般地, 当用高优先级突发承载分组时, 其分组丢失的几率就会比低优先级突发的小, 网络也就可以减少因分组丢失而必需的重传或确认等操作的附加开销。这种开销的减少, 就是  $C_k$  所描述的各级突发的承载效益。当  $M \leq N$ , 多个分组类别可能同时映射到同一优先级的突发。至于哪些类别, 则取决于许多因素, 如负载情况、 $\alpha_i$  相关性以及 OBS 边缘节点的处理能力等等。为了能较好地评价本文建议的自适应映射机制 (即 TQ-Map), 下面将先给出一种静态映射机制 (即 S-Map)。

### 2.1 S-Map 映射机制

根据文献 [8]，在不考虑各类分组的 QoS 要求和负载状况的情形下，我们可以提出一个最简单的映射机制，简称为 S-Map，用数学表达式表示为

$$\left. \begin{aligned} \text{Packet}_i &\rightarrow \text{Burst}_k, & i \in \left[ (k-1) \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor, k \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor \right] \\ \text{Packet}_i &\rightarrow \text{Burst}_M, & i \in \left[ (M-1) \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor, N \right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

这里  $k = 1 \cdots M$ ， $\lfloor x \rfloor$  表示对  $x$  下取整。我们可以看出 S-Map 是一种静态映射机制，但它仅是  $N$  和  $M$  在数值上一个均值映射，不能有效保证承载 IP 的 QoS，更不能高效地利用各类光突发的承载能力。

### 2.2 TQ-Map 映射机制

为了使映射关系更趋于合理、切合实际，可将各类分组的负载信息和 QoS 要求同时应用到映射关系中，其中负载信息可通过一些在线预测算法收集到，比如基于最小均方误差 (LMS) 的线性自适应预测算法。由此思路，可导出另一种映射机制，简称为 TQ-Map。

在多类别装配中，某一级突发可以装配多个类别的分组；同样，某一类分组也可随业务负载、网络可用资源的变化而被分散汇聚到不同优先级的突发中。根据 OBS 的承载信息的具体特点<sup>[1,2,4]</sup>，各级突发的装配过程可简单地看作为  $M/D^L/1/K$  成批服务排队过程，如图 1 所示，其中各类输入分组按 Poisson 到达，而且每次同时为  $L$  个分组服务，服务时间遵从指数分布，该分布的特征参数为装配定时时长的整数倍； $K$  为该排队过程的队列容量。TQ-Map 的目标是每类分组的 QoS 能得到最大限度的保证，同时能充分利用各级突发的承载能力。它可用如下最优化数学问题表示 (以第  $n$  类分组的装配为例)：

目标函数  $\text{Min}[L_n^{\text{total}}(t)]$ ，其中

$$\left. \begin{aligned} L_n^{\text{total}}(t) &= \sum_{k=1}^M L_{n,k}(t), \\ L_{n,k}(t) &= \text{Pb}_k(t) \cdot c_k \cdot [a_n P_{n,k}(t) \cdot \lambda_n(t) + \sum_{i \neq n} a_i P_{i,k}(t) \cdot \lambda_i(t)], \quad \forall k \in [1, M], n \in [1, n] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{Pb}_k(t) = f(\lambda_k^{\text{total}}(t), \mu_k)$$

$$\lambda_k^{\text{total}}(t) = \lambda_{n,k} + \gamma_{n,k}(t), \quad \lambda_{n,k} = P_{n,k}(t) \cdot \lambda_n(t), \quad \gamma_{n,k}(t) = \sum_{i, i \neq n} P_{i,k}(t) \cdot \lambda_i(t) \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^M P_{n,j}(t) = 1, \quad \forall n \in [1, N] \quad (4)$$

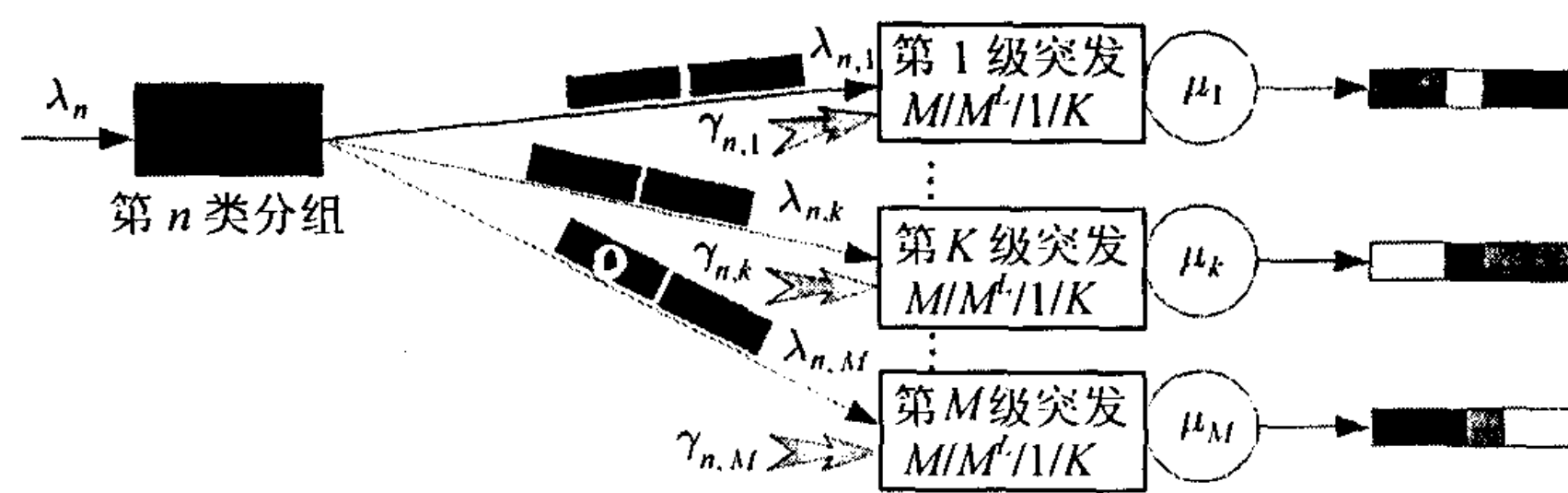


图 1 IP 分组-光突发映射分析模型

从而分组类别与光突发优先级间的映射关系的确定过程转化为求解最优分布的过程。对于在某一时刻  $t$ , 各类输入分组业务在各优先级  $M/M^L/1/K$  突发装配队列的最优分布求解, 虽然比较复杂, 但可以通过  $M/M^L/1/K$  的阻塞概率  $P_b$  表达式 (由文献 [11] 可得) 和约束条件得到。由于各类分组业务是时变的, 因此按常规方法求解上述最优分布是较困难的。这里, 我们将提出另一种高效方法, 它只需完成一次某一时刻的最优分布求解, 而其他时刻则可依据分组丢失率偏导来计算, 从而大大减轻计算开销。

若定义  $\lambda_{n,k}$  为  $n$  类到  $k$  级装配的主业务,  $\gamma_{n,k}$  为背景业务, 则分组丢失率  $L_{n,k}$  对  $\lambda_{n,k}$  和  $\gamma_{n,k}$  的偏导为

$$\left. \begin{aligned} D_{\lambda_{n,k}} &= \partial L_{n,k}(t) / \partial \lambda_{n,k} \\ D_{\gamma_{n,k}} &= \partial L_{n,k}(t) / \partial \gamma_{n,k} = \sum_{i,i \neq n} (\partial L_{n,k}(t) / \partial \lambda_{i,k}) (\partial \lambda_{i,k} / \partial \gamma_{n,k}) = \sum_{i,i \neq n} D_{\lambda_{i,k}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

在  $t + \Delta t$  时刻,  $n$  类到  $k$  级装配的分组丢失率  $L_{n,k}$  为

$$L_{n,k}(t + \Delta t) = L_{n,k}(t) + \Delta L_{n,k}(t) \quad (6)$$

其中根据式 (5),  $\Delta L_{n,k}(t)$  表示为

$$\Delta L_{n,k}(t) = D_{\lambda_{n,k}} \cdot \Delta \lambda_{n,k} + \sum_{i,i \neq n} D_{\lambda_{i,k}} \cdot \Delta \lambda_{i,k} \quad (7)$$

为使第  $n$  类分组总的丢失率  $L_n^{\text{total}}$  在  $t + \Delta t$  尽可能地保持在  $t$  时刻的最低值, 则只要  $\Delta L_{n,k}(t) \rightarrow 0$  即可, 即

$$\Delta \lambda_{n,k} = \left( \sum_{i,i \neq n} D_{\lambda_{i,k}} \cdot \Delta \lambda_{i,k} \right) / D_{\lambda_{n,k}} \quad (8)$$

这表明当背景业务变化时, 为保证业务的 QoS, 则  $n$  到  $k$  装配的主业务也必须相应地变化。然而至于  $\Delta \lambda_{n,k}$  可以分布到哪一优先级的突发上, 则可由下述条件确定:

$$\Delta L_n^{\text{total}}(t + \Delta t) = \sum_{k=1}^M \left[ D_{\lambda_{i,k}} \cdot \Delta \lambda_{n,k} + \sum_{i,i \neq n} D_{\lambda_{i,k}} \cdot \Delta \lambda_{i,k} \right] \rightarrow 0 \quad (9)$$

显然, 当  $t \rightarrow t + \Delta t$ ,  $\gamma_{n,k}$  增加时, 则只须从第  $k$  级突发转移一部分业务  $\Delta \lambda_{n,k}$  到最小  $D_{\lambda_{i,k}}$  的突发级别上, 即可满足上式, 为其它 QoS 要求严格的分组类别留出一定的承载能力; 反之, 当  $\gamma_{n,k}$  减少时, 则可以从最大  $D_{\lambda_{n,j}}$  的突发级别上转移  $\Delta \lambda_{n,k}$  主业务到第  $k$  级突发, 以便尽可能利用高级别突发的承载能力。TQ-Map 机制就按照这样方式将各类分组业务自适应地映射到相应优先级的突发中, 以使突发装配尽可能地与各类分组的 QoS 要求一致。

### 3 性能仿真

这里, 将以各级突发承载的各类分组负荷比例和各类分组丢失概率 (PLP) 为主要衡量指标来评估我们前面提出的突发装配技术。首先, 假定业务是按 On-Off 马尔科夫模型产生:  $\lambda_i$  为在 On 状态下分组到达速率,  $1/\beta_i$  为 Off 状态的平均时长, 图 2 给出在一段观察时间内各类分组负荷情况; 其次为了简化, 假设分组为定长 (1 个单位长度), 而每次装配的突发也为定长

值 ( $L$  倍分组长度)。这里, 我们仅考虑 5 个分组类别与 3 种突发优先级之间的映射情况, 为了仿真的简化, 各参数取值如下:  $L = 15$ 、 $K_1 = K_2 = K_3 = 20$ , 而各类分组的 QoS 因子  $\alpha_i$  分别为 5, 4, 3, 2, 1, 各级突发的承载效益  $C_i$  分别为 3, 2, 1, 其中  $i = 1, \dots, 5$ 。

以第 2 类分组为例, 如图 3 所示, 我们看到在 TQ-Map 映射机制的作用下, 各类分组能根据网络负载情况自适应地调整映射到各级突发的负载比例。为了尽可能减少其分组丢失概率, 这些分组则尽可能多地映射到高优先级突发, 余下的则依次映射到低一级突发中。图 4 给出了在一段观察时间内, 各类分组的 PLP 随时间的瞬时变化关系。在短时间内来看, 各类分组的 PLP 呈现一定幅度的波动, 而且这波动幅度与分组类别的高低相关, 如 Class3 的波动幅度就大于 Class2, 但小于 Class5。这主要是由于在出现多个分组类别竞争资源时, 由式 (1) 可知: TQ-Map 总是尽可能多地分配突发承载能力给高类别分组。但是长远来看, TQ-Map 总能使各类分组的 PLP 维持在一定水平, 这正是 TQ-Map 的优势。

当各类分组的  $\lambda_i$  仅在 500~4500 内变化, 而其他各参数均不变时, 与 S-Map 相比, TQ-Map 的优势更明显, 如图 5 所示。在  $\lambda_i$  较低 ( $\leq 1000$ ) 时, 它们间的差异不大; 但是当  $\lambda_i$  增加 ( $> 1000$ ) 时, S-Map 各类分组的  $PLP \sim \lambda_i$  的变化曲线较为陡峭, 而 TQ-Map 的相对较平缓。另外, 由于 TQ-Map 能将负荷按比例自适应地分摊到各级突发中, 不像 S-Map 那样各类分组间严格隔离, 即每类分组只能映射到某一特定的突发, 即使某些突发有富裕的承载能力, 也不能使用, 因此出现当  $\lambda_i$  增加到一定程度, TQ-Map 的低类别分组的 PLP 比 S-Map 的高类别分组的 PLP 还低, 如当  $\lambda_i > 2300$  时,  $PLP_{Class5}^{(TQ-Map)} < PLP_{Class3}^{(S-Map)}$ ; 再如当  $\lambda_i > 3200$  时,  $PLP_{Class3}^{(TQ-Map)} < PLP_{Class1}^{(S-Map)}$ 。

因此, 我们从上面仿真结果看出: TQ-Map 是较好的映射机制, 即一方面它具有一定自适应性, 能根据输入分组的 QoS 要求和负荷状况自动调整对突发优先级的映射关系; 另一方面它同时既能公平地但又有区分地利用各级突发的承载能力, 能与上层 QoS 要求相匹配。

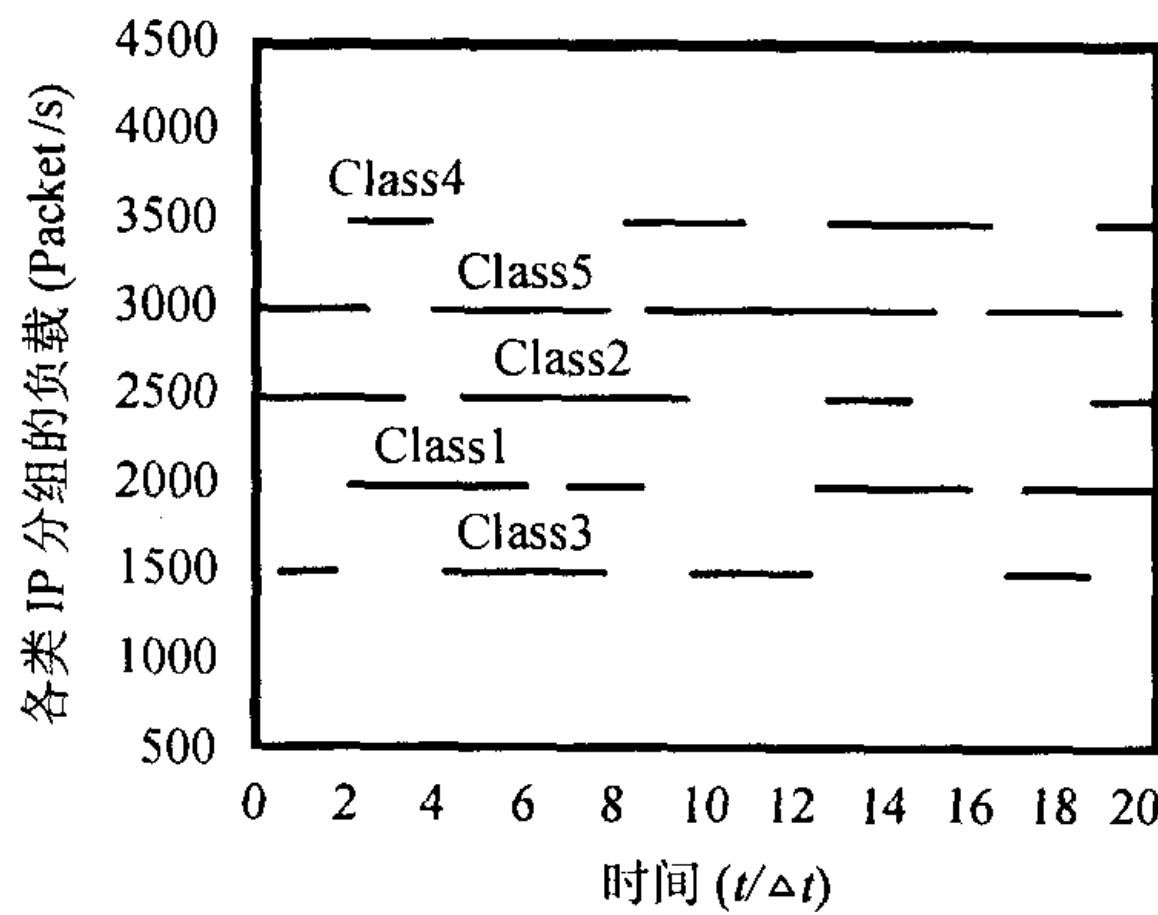


图 2 各类 IP 分组的负荷情况 (遵从 On-Off 马尔科夫模型)

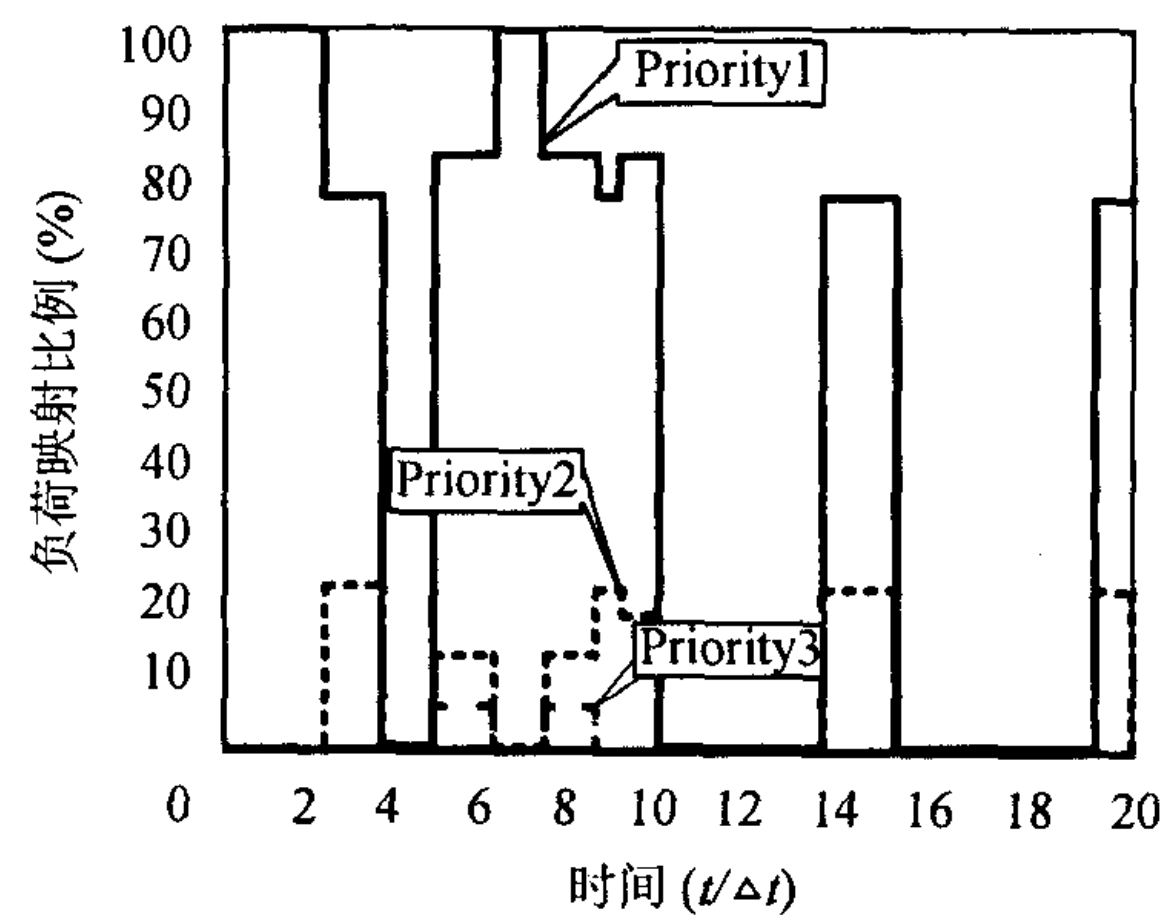


图 3 TQ-Map 机制作用下第 2 类 IP 分组映射到各级突发的负荷比例 ( $L = 15, K_1 = K_2 = K_3 = 20$ )

#### 4 结束语

本文主要讨论了一种光突发装配中的分组类别与光突发优先级的映射机制, 即 TQ-Map, 主要解决光突发交换网络中如何通过少量的突发优先级高效地承载多个分组类别的问题。与文中的 S-Map 机制相比较, 自适应性是它的突出特点, 它主要表现在两个方面: 一是与各类分组的业务量的变化相适应, 动态、合理地将某一级突发的承载能力分配给同属一个映射的不同类

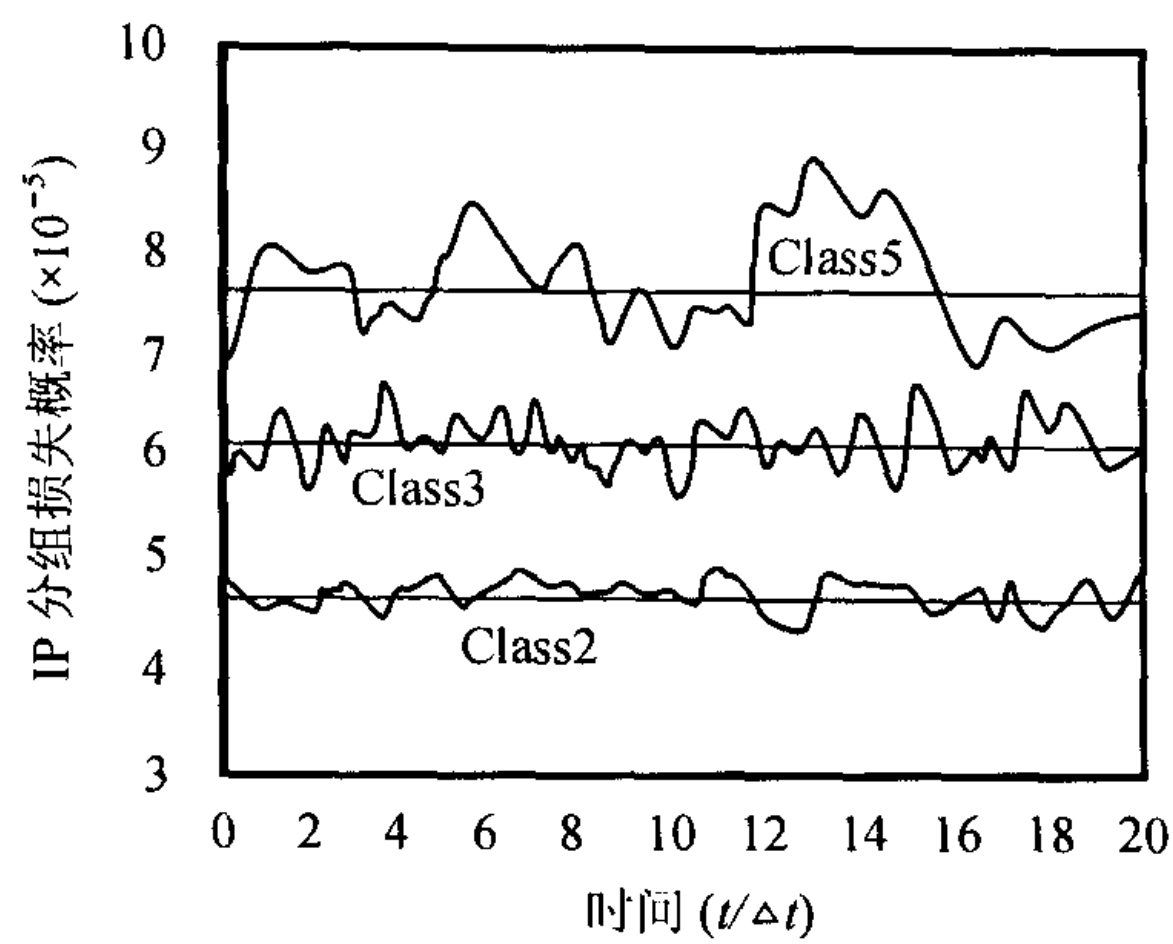


图4 各类分组丢失概率随时间的变化情况

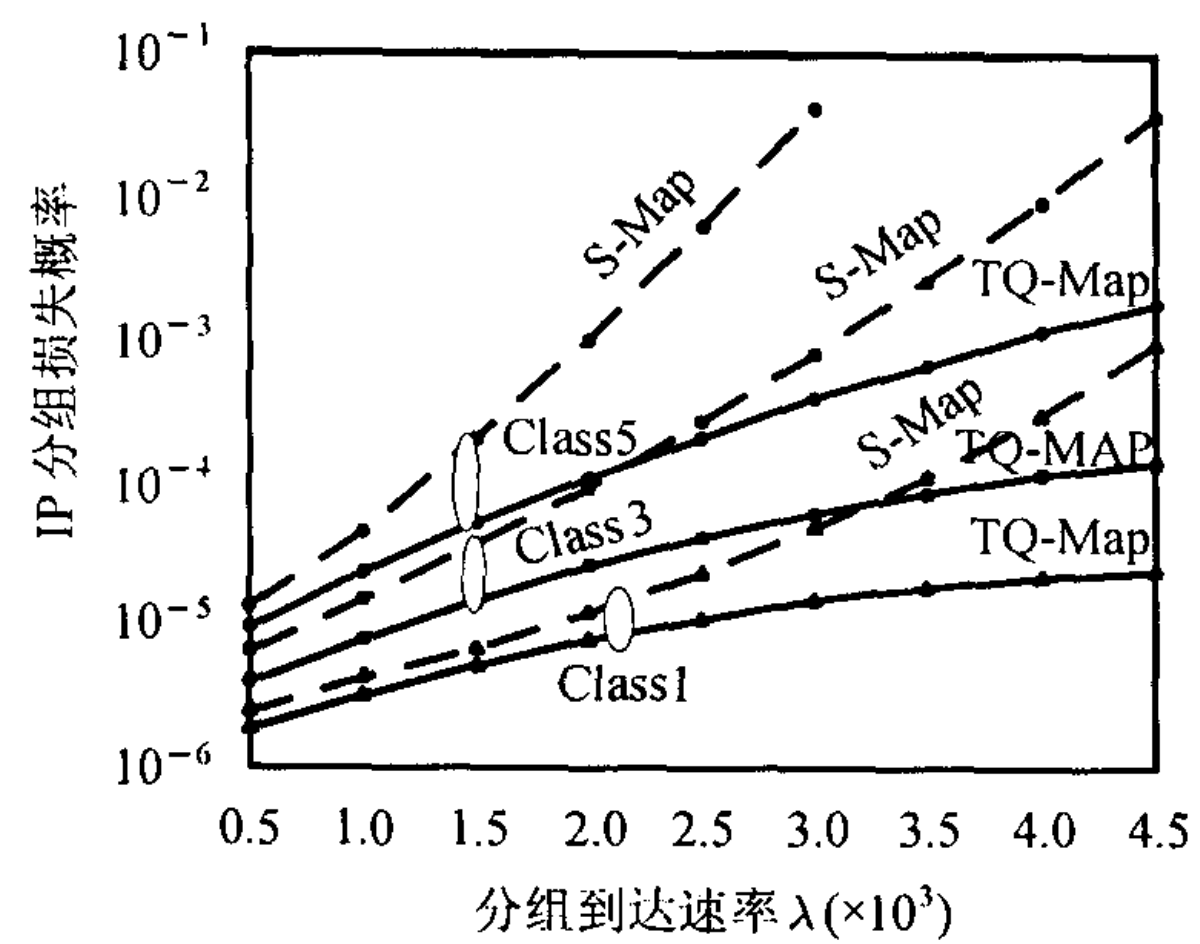


图5 TQ-Map 与 S-Map 的性能比较

别;二是与各类分组的 QoS 要求相匹配.经仿真,各类分组的 PLP 虽然在瞬间具有一定波动,但却是在一个基线上波动,这是 TQ-Map 机制自适应性的效果,表明它能保证各分组类别 QoS.

### 参 考 文 献

- [1] Verma S, et al.. Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone. *IEEE Network*, 2000, 14(6): 48-53.
- [2] Yijun Xiong, et al.. Control architecture in optical burst-switched WDM networks. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(10): 1838-1851.
- [3] Yu X, et al.. Study of traffic statistics of assembled burst traffic in optical burst switched networks. *Proc. Opticomm'2002, Boston, July-August 2002*: 149-159.
- [4] Yoo M, Qiao C. A new optical burst switching protocol for supporting quality of service. *SPIE Proc.*, 1998, vol.3531: 396-405.
- [5] Yoo M, et al.. Optical burst switching for service differentiation in the next-generation optical Internet. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(2): 98-104.
- [6] Yoo M, et al.. QoS performance of optical burst switching in IP-over-WDM networks. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(10): 2062-2071.
- [7] Ge A, Callegati F, Tamil L. On optical burst switching and self-similar traffic. *IEEE Communications Letters*, 2000, 4(3): 98-100.
- [8] Blake S, et al.. An architecture for differentiated services. RFC 2475, IETF, December 1998.
- [9] Vokkarane V, Haridoss K, Jue J P. Threshold-based burst assembly policies for QoS support in optical burst-switched networks. *Proc. Opticomm'2002, Boston, July-August 2002*: 125-136.
- [10] Vokkarane V, Jue J. Prioritized routing and burst segmentation for QoS in optical burst-switched networks. *Proc. OFC'2002, Anaheim, March 2002*: 221-222.
- [11] 盛友招. 排队论及其在计算机通信中的应用. ISBN7-5635-0306-4, 北京: 北京邮电大学出版社, 1998年, 第154页.

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.

王晟: 男, 1971年生, 博士, 副教授, 主要研究方向为光通信网络.