

光突发交换网中一种新的有优先权的冲突解决方案*

毕峰军 张 民 叶培大

(北京邮电大学光通信中心,北京 100876)

摘 要 提出了一种解决不同优先级突发包之间资源竞争的方案,分析了该方案下不同优先级的性能(时延和丢包率). 研究表明:高优先级突发包的平均时延和丢包率都远小于低优先级突发包,因此该方案能为高优先级突发包提供很好的 QoS 保障.

关键词 光突发交换;光缓存;资源竞争;光纤延迟线;QoS

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

0 引言

光域的电路交换技术(OCS),因其交换粒度太大(一般为波长级),且带宽利用率低,不适于支持数据业务. 光域的分组交换技术(OPS)是针对各类数据业务而提出的理想交换方案,但由于光逻辑器件等技术不成熟,目前尚无法实现. 由此,结合了 OCS 和 OPS 优点,且实现相对简单的新交换方式——光突发交换(OBS)^[1],成为更理想的方案.

如何在 OBS 中实现 QoS,如何解决突发包对资源的竞争问题,是目前 OBS 的研究热点,前人也做了很多工作. Myungsik Yoo 和 Chuming Qiao 通过偏置时间来提供差别服务和 QoS 保障^[2]. 其基本思想是:资源预约上仍以 JET 协议^[3]为基础,在边缘节点处为突发数据分配不同的优先级,对高优先级的突发包设置一个额外的偏置时间(T_{extra}),而低优先级的数据报只有一个基本的偏置时间(T_{base}), T_{extra} 远远大于 T_{base} . 因为高优先级的突发包的偏置时间($T_{extra} + T_{base}$)比低优先级的偏置时间(T_{base})长很多,因而它有更多的机会预约到资源,从而实现差别服务. 文献^[5]通过 FDL 实现 QoS,当高优先级的突发包和低优先级的突发包同时竞争资源时,高优先级的突发包将优先占用带宽和 FDL,但不强占已被低优先级突发包提前预约的资源. 上述实现 QoS 的方法中延长偏置时间就会增大高优先级突发包的时延,文献^[5]中对低优先级突发包的保护使得高优先级的突发包并没有得到充分的 QoS 保障. 而网络中有一些流量业务(如那些用于信号,保护和恢复目的流量)需要非常高的 QoS 保障(绝对的低时延,低丢包率),本文就是研究如何对重要突发包实现绝对的 QoS 保障.

为充分保证 OBS 中极重要突发包的 QoS,本文提出了一种全新的冲突解决方案,分析了该方案下不同优先级的性能(时延和丢包率),结果表明,通过我们提出的方案,能够对高优先级的突发包提供很高的 QoS 保障.

1 系统分析和模型的建立

光突发交换网由边缘节点和核心节点构成,边缘节点负责 IP 业务的汇聚,组装和包的拆卸工作. 核心节点则负责在电域处理提前发送的控制信息包,并通过解析控制包携带的消息信令完成对光交叉矩阵的配置,使随后到达的突发包在全光域内进行快速的交换. 核心节点采用什么样的资源预留机制和竞争解决方案对网络的性能有着很大的影响. 本文中核心节点的资源预留采用 JET^[3]协议,并且为核心节点配备一定数量的缓存^[4,5],缓存功能通过光纤延迟线(FDL)来实现,结构如图 1. FDL 的最小延时单位是 b ,最大延时为 B 个单位. 边缘节点为突发包分配不同级别的优先级,当多个突发包同时发往同一个输出端口时,就会发生对资源的竞争,为了保证高优先级突发包的 QoS,我们提出如下解决竞争的规则

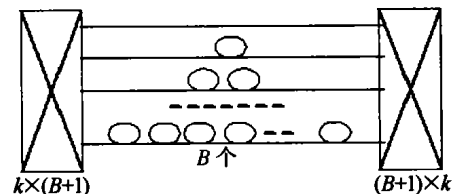


图 1 缓存的结构

Fig. 1 Structure of the FDLs

1) 高优先级的突发包将占用低优先级突发包预约的资源,同时控制系统为被挤占的低优先级的突发包预约一条 FDL,并为其预约新的资源. 为了简单起见,假设有两个优先级的突发包,Class1 优先于 Class2. t_2^s 为 Class2 的开始服务时间, l^2 为 Class2 的包长, t_1^s 为 Class1 的开始服务时间, l^1 为 Class1 的包长, t_i 为所选的 FDL 所提供的延时. 下

*国家自然科学基金(编号:60372100)和国家高技术研究发展计划(863 计划,编号:2003AA122530)资助
Tel:010-62282205 Email:bifengjun@sina.com.cn
收稿日期:2004-04-26

面按图 2 进行解说,如图 2(a),当 Class1 和 Class2 在预约资源发生冲突时($t'_s < t_s^2 + I^2$),Class1 将强行占用 Class2 预约的资源,控制系统为 Class2 预约一条 FDL (提供的延时 t_1),并为其预约 $[t_s^2 + t_1, t_s^2 + t_1 + I^2]$ 这段的资源.若无空闲的 FDL 或 $t_s^2 + t_1 < t_s^1 + I^1$ 或数据的包长大于 FDL 所能提供的最大延时,则低优先级的突发包将被丢弃.

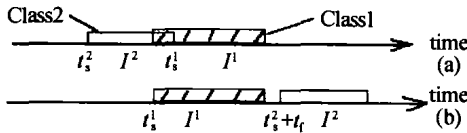


图 2 不同级别突发包的资源预约示意图
Fig. 2 Sketch map of resource booking for different burst packets

2) 同级竞争时,为没有预约上资源的突发包预约一条 FDL,并为其预约新的资源.如图 3(a), $t'_s < t_s^1 + I^1$ 时,后到的突发包将与前一个突发包在资源预约上发生冲突,则为后到的突发包预约一条 FDL (提供的延时 t_1),并为其预约 $[t'_s + t_1, t'_s + t_1 + I^1]$ 这段的资源.若无空闲的 FDL 或 $t'_s + t_1 < t_s^1 + I^1$ 或数据的包长大于 FDL 所能提供的最大延时,则将后到的突发包丢弃.

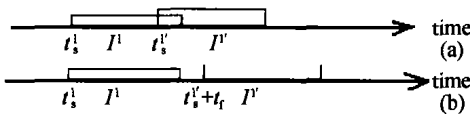


图 3 同级突发包的资源预约示意图
Fig. 3 Sketch map of resource booking for same burst packets

3) 低优先级的突发包预约资源时,若无资源可用时,则预约一条 FDL(提供的延时 t_1),并如前面所述,将预约的时间段平移 t_1 .若无空闲的 FDL 或在新的时间段下仍然发生冲突或突发包的包长大于 FDL 所能提供的最大延时,则将突发包丢弃.

4) 对 FDL 的预约,高优先级的突发包优于低优先级的突发包.

基于上述规则,建立有优先权机制的光突发包排队模型如下.记不同级别的突发包在核心节点处的平均时延为 W_i 和丢包率为 P_{lossi} .突发包的长度和 FDL 的长度都以时间来度量.FDL 的最小延时单位是 b ,则 FDL 所提供的延时是离散的.因此,当某个波长空闲时,排在 FDL 队列最前的突发包未必能马上离开队列享受服务,这相当于延长了突发包的平均服务时间,进而加大了系统的等效负荷强度.因此有必要对负荷强度作等效处理^[6]

$$\rho = \rho' \left(1 + \frac{\rho' b / L}{2 - \rho' b / L} \right) \quad (1)$$

式中, ρ 是修正后的负荷强度, ρ' 是原来的负荷强度, b 是最小延时单位, L 是突发包平均时长.在下文涉及到 FDL 的分析中, ρ 或 ρ_i 都指修正后的负荷

强度.

假设突发包共分为 N 等级,相互独立,按泊松流到达,并且 λ_i 是第 i 级突发包的到达率 ($0 \leq i \leq N$);则系统中突发包总的到达率为

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

设 μ_i 是对第 i 级突发包的平均服务率, S_i 是对第 i 级突发包的服务时间,则其均值为

$$\bar{S}_i = ES_i = 1/\mu_i \quad (0 \leq i \leq N)$$

于是,第 i 级突发包带给系统的负荷强度为

$$\rho_i = \lambda_i / \mu_i \quad (0 \leq i \leq N)$$

由计算可得,系统总的负荷强度和平均服务时间分别是

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i = \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{S}_i$$

$$\bar{S} = ES = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} ES_i = \frac{\rho}{\lambda}$$

假设流量是对称的,即所有输入波长信道的输入流量都具有相同的统计特征,而且输入的突发指向任何一个输出端口的概率都是相同的,因此在计算时延时,将核心节点看作是单一输入单一服务窗的系统.假设突发包共分为 N 等级,由高到底分别为 Class1、Class2……ClassN,各级突发包按泊松流独立到达,并且 λ_i 是第 i 级突发包的到达率 ($0 \leq i \leq N$),节点对其的服务时间服从负指数分布,平均服务时间为 $1/\mu$.并根据前面论述的竞争解决的规则可知,系统的排队模型属于强占优先级的 M/M/1 排队模型.

由于存在强占优先权,所以具有第 1 优先权的突发包到达时,可以认为系统中不存在其它级别的突发包.那么突发包在核心节点的平均延时 W_1 有两部分组成,突发包的平均排队时间 W_{q1} ^[7] 和节点对其的平均服务时间 $1/\mu$.

$$W_{q1} = \frac{\lambda ES^2}{2} \cdot \frac{1}{1 - \rho_1} = \frac{\lambda_1}{\mu(\mu - \lambda_1)} \quad (2)$$

式中 $\rho_1 = \lambda_1 / \mu, \lambda = \lambda_1, ES^2 = 2/\mu^2$

所以有

$$W_1 = W_{q1} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu - \lambda_1} = \frac{1}{\mu(1 - \rho_1)} \quad (3)$$

考察当具有第 2 优先权的突发包到达时,由于存在着强占优先权,故可以认为系统中只有第 1、2 级优先权的突发包, W_{1-2} 表示第 1、2 级突发包在系统中时每一个突发包的平均时延.由于他们的服务不受其它顾客存在的影响,所以由式(3)可知

$$W_{1-2} = \frac{1}{\mu - (\lambda_1 + \lambda_2)} \quad (4)$$

又由于

$$(\lambda_1 + \lambda_2) W_{1-2} = \lambda_1 W_1 + \lambda_2 W_2$$

所以

$$W_2 = (1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}) \cdot \frac{1}{\mu - (\lambda_1 + \lambda_2)} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{1}{\mu - \lambda_1} = (1 + \frac{\rho_1}{\rho_2}) \cdot \frac{1}{\mu(1 - \rho_1 - \rho_2)} - \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{1}{\mu(1 - \rho_1)} \quad (5)$$

依此类推

$$W_k = \frac{\sum_{l=1}^k \lambda_l}{\lambda_k} W_{1-k} - \frac{\sum_{l=1}^{k-1} \lambda_l W_l}{\lambda_k} \quad 1 < k \leq N \quad (6)$$

为了分析方便只将突发包分为两个等级 Class1 和 Class2, 且 $\lambda_1 = \lambda_2$ 它们在核心节的平均时延分别是 W_1 和 W_2 , 其表达式分别为

$$W_1 = \frac{1}{\mu(1 - \rho_1)} \quad (7)$$

$$W_2 = \frac{2}{\mu(1 - 2\rho_1)} - \frac{1}{\mu(1 - \rho_1)} \quad (8)$$

若系统不分等级, 在相同的负荷强度下 ($2\rho_1$), 其平均时延 W_n 为

$$W_n = \frac{1}{\mu(1 - 2\rho_1)} \quad (9)$$

下面推导不同级别的突发包在核心节点处的丢包率. 仍假设流量是对称的, 将核心节点看作是单一输入单一服务窗的系统. 突发包分为两个等级 Class1 和 Class2, 突发包按泊松流独立的到达, 到达率分别为 λ_1 和 λ_2 , 系统的负荷强度分别为 ρ_1 和 ρ_2 , 又核心节点配置了 FDL, 则核心节点形成 M/M/1/ n 的排队模型, $n = 1 + B$.

由于存在强占优先权, 所以具有第 1 优先权的突发包到达时, 可以认为系统中不存在其它级别的突发包.

所以有 $P_{loss1}^{[7]}$

$$P_{loss1} = \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^{n+1}} \cdot \rho_1^n \quad (10)$$

$P_{loss1-2}$ 为系统中第一和第二优先级的共同的丢包率, 由式(10)可得

$$P_{loss1-2} = \frac{1 - (\rho_1 + \rho_2)}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^{n+1}} \cdot (\rho_1 + \rho_2)^n$$

显然下式成立

$$(\rho_1 + \rho_2) \cdot \rho_{loss1-2} = \rho_1 \cdot P_{loss1} + \rho_2 \cdot P_{loss2}$$

所以有

$$P_{loss2} = \frac{1}{\rho_2} \cdot \left[\frac{1 - (\rho_1 + \rho_2)}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^{n+1}} \cdot (\rho_1 + \rho_2)^{n+1} - \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^{n+1}} \cdot \rho_1^{n+1} \right] \quad (11)$$

若系统不分等级, 在相同的负荷强度下 ($\rho_1 + \rho_2$), 其丢包率 P_{loss} 为

$$P_{loss} = \frac{1 - (\rho_1 + \rho_2)}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^{n+1}} \cdot (\rho_1 + \rho_2)^n \quad (12)$$

2 结果分析

图4是根据式(7)、(8)和(9), 在 $\mu = 2, b/L = 0.3$ 和 $b/L = 0.8$ 所得到的平均时延随系统负荷强度的变化曲线. 发现

1) 随负荷强度加大, 系统越来越繁忙, Class1、Class2 和 Classless 的平均时延都增大. 与 Class2 和 Classless 相比, Class1 延时的增大趋势十分缓慢. 即使在负荷比较高的情况下, Class1 的性能也得到了很好的保障. 2) Class2 平均时延大于 Classless 平均时延, 且远大于 Class1 平均时延. 这是由于采用本文的资源预约规则, Class1 抢占了 Class2 的资源, 使得缓存在队列中的突发包大都是 Class2 突发包, 这大大增加了 Class2 的排队时延. 尤其在高负荷下, Class2 的性能急剧恶化. 为了对 Class2 的突发包有一定的性能保证, 系统中 Class1 的流量不宜过大. 3) 正如预计的那样, Classless 的延时曲线落在 Class1 和 Class2 之间, 这是因为无论突发包是否分级, 系统的处理能力并没有变化, 本文方案中高优先级的数据性能的改善, 是以牺牲低优先级数据为代价的. 4) 相同的负荷强度下, b/L 越小, 平均时延也相应的变小. 这可以由式(1)可知, b/L 变小, 其等效负荷强度也相应的变小, 所以平均时延降低了.

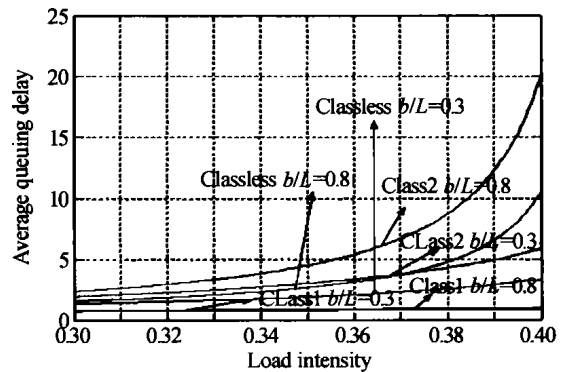


图 4 不同的 FDL 单位下, Class1、Class2 和 Classless 的平均时延和负荷强度的关系

Fig. 4 Relationship between average queuing delay and load intensity of packet class1, class2 & classless, in case of different FDL units

根据式(10)、(11)和(12), 并假设 $\rho_1 = \rho_2, b/L = 0.2, n = 10$, 可得到丢包率随系统负荷强度的变化曲线, 如图 5. 发现:

1) 随系统负荷强度加大, Class1、Class2 和 Classless 的丢包率都增大. 但是 Class1 丢包率增大非常缓慢, Class1 的性能得到了很好的保障. 2) Class2 的丢包率远远大于 Class1, 且也大于 Classless. 这是由于采用本文的资源预约规则, Class1 抢占了 Class2 的资源, 使得 Class2 更易被丢弃. 图 5 再次说明, 在高负荷下 Class1 的流量不宜

过大,以避免 Class2 的性能急剧恶化. 3) 因为系统的处理能力并没有变化,所以 Classless 的丢包率介于 Class1 和 Class2 之间.

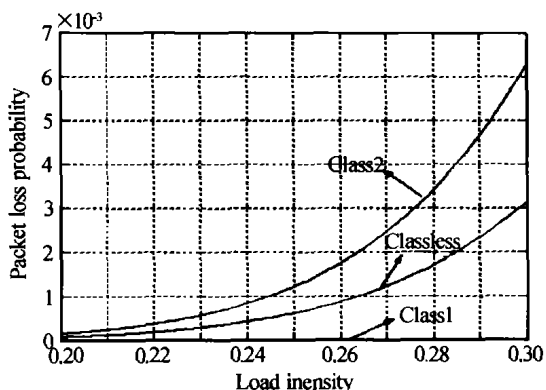


图5 Class1, Class2 和 Classless 的丢包率和负荷强度的关系
Fig. 5 Relationship between packet loss probability and load intensity of packet class1, class2 & classless

下面讨论平均时延和丢包率之间的关系,实际上平均时延和丢包率是一对相互制约的因素^[8],二者共同受到缓存深度 B 的影响. 为简单起见,图 6 仅给出了 Class1 突发包在不同缓存深度下平均时延和丢包率随负荷强度的变化曲线,从图中可见,缓存深度增大,丢包率减小,平均时延增大;缓存深度减小,丢包率增大,平均时延减小. 这是因为缓存深度增大,也就意味着其存储包的能力增大,排队的队列增长,所以突发包被丢弃的概率减小,排队时延增大;同理缓存深度减小,其存储突发包的能力降低,排队的队列变短,所以突发包被丢弃的概率增大,排

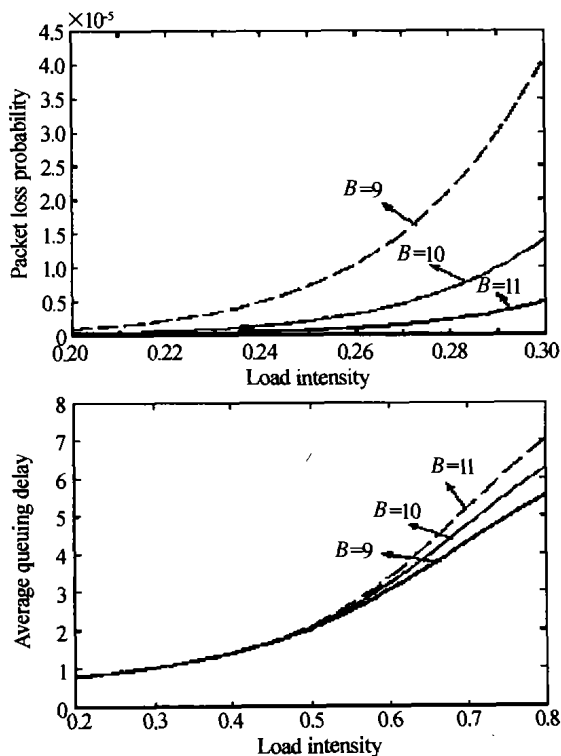


图6 不同缓存深度下丢包率和平均时延的变化
Fig. 6 The change of packet loss probability and average queuing delay, in case of different FDL units

队时延减小. 由此可见,缓存深度对平均时延和丢包率的影响是相反的,二者是一对相互制约的矛盾体,因此选择恰当的缓存深度对平衡平均时延和丢包率的关系大有裨益.

3 结论

本文提出了一种不同优先级的突发包之间冲突的解决方案,建立了相应的数学模型,分析了各种优先级突发包的平均时延和丢包率,并讨论了二者的关系. 在此方案下,高优先级突发包的平均时延和丢包率都远小于低优先级突发包,因此本方案能为高优先级突发包提供很好的 QoS 保障,但这是以牺牲低优先级突发包的性能为代价的. 再者,高优先级的流量不宜过大,以避免低优先级业务质量的过度恶化. 此外,细化缓存单位、选择恰当的缓存深度都可以改善系统的性能.

参考文献

- 1 Qiao C, Yoo M. Optical Burst Switching (OBS) - a new paradigm for an optical internet. *Journal of High Speed Network*, 1999, 8(1): 69~84
- 2 Yoo M, Qiao C, Dixit S. QoS performance of optical burst switching in IP-Over-WDM networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(10): 2062~2072
- 3 Yoo M, Qiao C. Just-Enough-Time (JET): a high speed protocol for burst traffic in optical networks. *IEEE/LEOS Technology for a Global Information Infrastructure*, 1997, 8: 26~27
- 4 张帆, 张民, 伍剑, 等. 自相似业务下光缓存设计. *光子学报*, 2002, 31(4): 425~428
Zhang F, Zhang M, Wu J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(4): 425~428
- 5 张民, 张帆, 王建, 等. 有优先权的光突发交换中光缓存的性能分析. *光子学报*, 2002, 31(10): 1190~1194
Zhang M, Zhang F, Wang J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(10): 1190~1194
- 6 Callegati F. On the design of optical buffers for variable length packet traffic. *Computer Communications & Networks*, 2000, Proceeding ninth International Conference, 2000. 448~452
- 7 陆传赓. 排队论. 北京邮电学院出版社, 1994. 211~217, 54~56
Lu C L. The theory of queue. The publishing Company of BOPT, 1994. 211~217, 54~56
- 8 葛振斌, 潘勇, 张民, 等. 针对 WWW 业务的光缓存优化设计. *光子学报*, 2005, 34(1): 82~85
Ge Z B, Pan Y, Zhang M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(1): 82~85

A Novel Prioritized Scheme for Contention Resolution in Optical Burst-Switched Networks

Bi Fengjun, Zhang Min, Ye Peida

Optical Communications Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Received date: 2004-04-26

Abstract A novel prioritized scheme applied to contention resolution was proposed for optical burst-switched networks. Performance analyses show that our proposed scheme works very well. The average delay and the burst loss probability of the higher-prioritized bursts are much less than those of the lower-prioritized bursts. The scheme can provide the good guarantee of QoS for optical burst with vital data and information.

Keywords Optical burst switching; Optical buffering; Contention resolution; FDL; QoS

Bi Fengjun was born in 1977, in Yichun, Heilongjiang Province, China. He received his B. S. in Mechanics from the Beijing University of Aeronautics and Astronautics in 1999. Currently he is pursuing his master degree in Optical Communication Center of Beijing University of Posts and Telecommunications. His research interests are in the areas of optical switching and key technologies of optical packet-switched networks.