

光突发交换网络核心结点中数据突发缓存与调度的新策略

郭彦涛, 文爱军, 刘增基, 毋丹芳

(西安电子科技大学 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 提出一种采用光纤延迟线的数据突发缓存调度新策略, 这些光纤延迟线按照一定的结构设置在光突发交换网络的核心结点中. 利用光纤延迟线来缓存低优先级的数据突发, 而尽可能实时转发高优先级业务的数据突发; 再通过突发控制分组的“二次信令”调整网络中传送低优先级数据突发的波长信道预约. 通过仿真光突发交换网络系统, 研究了网络业务流量、数据突发长度和光纤延迟线缓存深度对系统数据突发的丢失率和端到端时延的影响. 结果表明, 所提出的调度策略可以有效地减小网络中突发竞争的概率和减小高优先级数据突发的丢失率及端到端时延, 从而向高优先级业务提供了端到端的 QoS 保证.

关键词: 光突发交换; 调度策略; 信令; 光纤延迟线; 数据突发; 突发控制分组

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)06-0866-05

A new buffering and scheduling policy for data bursts at core nodes of OBS networks

GUO Yan-tao, WEN Ai-jun, LIU Zeng-ji, WU Dan-fang

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: The paper proposes a new buffering and scheduling policy for data bursts (DBs) with fiber delay lines (FDL), which is set at core nodes according to a specific configuration. The main idea is that when competing at a core node, the low-priority class data burst (DB) is buffered with FDL in order to forward the high-priority DB as early as possible, and the reserved wavelength channel for the low-priority DB will be re-assigned to the contending high-priority DB by sending a new burst control packet (BCP), called the second BCP signaling, from the node to the downstream nodes. The effects of network traffic loads, the average length of DBs and the size of FDL buffer on DB's loss probability and end-to-end delay are studied by an OBS network system simulation. Results show that the proposed scheduling policy can reduce obviously the DB loss probability and end-to-end delay for high-priority class DB. So it can improve significantly the end-to-end QoS for high-priority DBs.

Key Words: optical burst switching; scheduling policy; fiber delay line; data burst; burst control packet

光突发交换(OBS)技术适合突发型数据业务. 在 OBS 网络中, 由于采用单向预留信道资源的控制方式, 数据突发(DB)从源(边缘)结点发出时, 源结点到目的(边缘)结点之间的通路并未完全建立, 所以在 OBS 网络中的核心结点处一旦波长信道资源的预约因 DB 发生冲突而失败, 随后到来的数据突发将被丢失. 为了降低数据突发丢失率, 需要采取有效的竞争解决方案. 通常在 3 个方面采取措施: ①空间域: 偏射路由; ②时间域: 丢弃重传或用光纤延迟线(FDL)缓冲; ③波长域: 增加波长数目并采用波长变换器, 文献[1]对此进行了相关研究. 在时间域内有多种采用 FDL 的策略, 其中基于偏置时间的具有数据突发优先级的 OBS 策略^[2]和 LAUC/LAUC-VF^[3]等调度算法中, 使用 FDL 只是作为一种辅助策略. 当在所限的时间内无法为即将到来的 DB 预留波长信道时, 使用 FDL 可以在一定的时间范围内缓存 DB, 并在此延时期内为之寻找恰当的承载波长信道. 文献[4]中的核心结点上配置了一套 FDL 缓冲器, 其中每个 FDL 延时时间不同. 当竞争发生

收稿日期: 2006-03-30

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划面上项目(90104012)资助.

作者简介: 郭彦涛(1964-), 男, 西安电子科技大学博士研究生.

时,竞争的 DB 被分配 FDL 进行适当的缓冲延时并寻找延时后的空闲波长信道. FDL 的分配与 DB 的优先级别相对应,级别最高的 DB 将获得最大范围的 FDL 延时,因此其获得信道资源分配的机会也最大.但是,使用 FDL 增加了端到端的时延,尤其是对于时延敏感的实时业务来讲,它的优先级较高,如果按照文献[2, 4]中的 FDL 策略来为竞争的 DB 分配信道的话,对实时业务 DB 将产生很大的时延.因此笔者提出了一个新的突发缓存调度方法,利用 FDL 来缓存低优先级的 DB,而尽可能实时转发高优先级业务的 DB;再通过突发控制分组(BCP)的“二次信令”调整网络中传送低优先级 DB 的波长信道预约.

1 FDL 缓存器结构及调度原理

一般情况下,FDL 在 OBS 网络的核心结点中可以配置为输出缓存器、输入缓存器、循环缓存器或者用作某一端口的专用/共享缓存器,图 1 示出共享 FDL 缓存器的核心结点结构.虽然 FDL 缓存器的位置不同,缓存竞争数据突发的方式不同,但是各种 FDL 缓存器都有相同的内部结构.每个 FDL 缓存器通常都有 M 个 FDL,每个 FDL 具有不同的延迟时间,但一般都是单位延迟线所能提供的单位延迟时间 D 的整数倍,而 D 一般根据平均数据突发长度来选取.这样 FDL 缓存器所能提供的延时时间范围(缓存深度)是 0 到 B , $B = (M - 1) \times D$. 对每个输入/输出波长信道或端口都可以配置一个 FDL 缓存器.当两个 DB 争用波长信道时,通过 BCP 的处理将后到的竞争 DB 送入 FDL 缓存器,并选择适当的 M 值以延长恰当的时间,并在该时间后调度输出该竞争 DB.

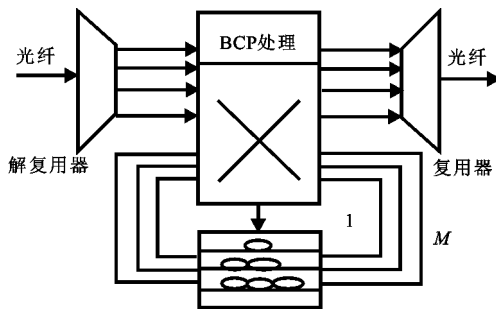
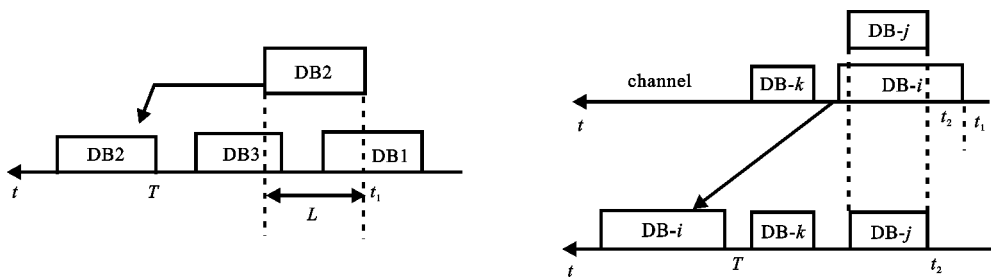


图 1 FDL 共享缓存器结构

2 数据突发缓存调度策略

通常采用 FDL 的数据突发缓存调度策略中采取的方法是后到者被 FDL 缓存,并未考虑竞争 DB 之间的优先级别.如图 2(a)所示,当 DB1 已经获得信道的预占权将被调度输出时,DB2 随后于时刻 t_1 到达并和 DB1 产生竞争.此时使用 FDL 缓存器将 DB2 延时至时刻 T 调度输出,这样就避免了因竞争而产生的数据突发丢失,其中 $T = t_1 + (q - 1) \times D, q = 1, 2, \dots, M$. 而在文献[4]中虽然考虑了 DB 的优先级别,却将 FDL 延时缓存的特权赋予了高优先级的 DB,而且优先级别越高,延时越长,以利获得更多的接入波长信道的机会.虽然这样保证了高优先级 DB 的低丢失率,但却造成其端到端的时延增加.而在 OBS 网络中,实时性业务的 DB 通常被赋予最高的优先级别.所以对于实时性业务的 DB 必须尽量减小端到端的时延.



(a) 一般 FDL 缓存调度数据突发策略

(b) 数据突发 FDL 缓存调度新策略

图 2 数据突发缓存调度策略

2.1 新调度策略的工作原理

设 OBS 网络中有 N 类 DB 业务,即 class1, class2, ..., classN, 优先级别逐级升高,它们所对应的数据突发分别表示为 DB-1, DB-2, ..., DB-i, DB-j, ..., DB-n. 当网络中的核心结点发生数据突发竞争时,见图 2(b),高优先级的数据突发 DB-j 虽然在时间上晚于低级别的数据突发 DB-i 到达,但是却和 DB-i 争用同一波长信

道.如果在处理数据突发 DB- j 的 BCP 时数据突发 DB- i 虽然已经被分配了波长信道,但是 DB- i 却还未到达该结点,即该波长信道还未被 DB- i 占用,而此时采用其他调度策略又无法解决该竞争时,则可以利用 FDL 缓存器解决竞争.以前的 FDL 缓存策略为公平策略,即不考虑 DB 的优先级而仅缓存后到的竞争突发 DB;笔者提出的具有 DB 优先级的 FDL 缓存策略则是低级别的前突发 DB- i 被缓存,即强制延迟先到的低级别 DB.由于在核心结点中 DB 的波长预约调度策略实质是 DB 在该结点被排队处理的过程,所以上述策略是一种具有优先级的抢占队列方式.

2.2 实现步骤

第 1 步:在发生 DB 竞争的核心结点中,如果对应高优先级 DB 的 BCP 在先,则按照公平缓存策略执行;否则,判断是否符合抢占条件,符合则根据图 2(b)按照 class- j 业务的要求为高优先级 DB- j 预约波长信道,抢占低优先级 DB- i 已预约的波长信道并执行第 2 步;不符合则按照公平策略执行.

第 2 步:更改本结点数据突发 DB- i 的波长信道预约值,利用 FDL 将 DB- i 缓存适当时间后再重新分配波长信道.

第 3 步:在 OBS 网络中该结点向路由的下游结点重发对应于 DB- i 的 BCP 信息,即二次信令信息.因为在各核心结点中,对于已经被成功预约信道的数据突发的相关信息都存储于 BCP 列表中,当 offset time 后所对应的数据突发通过该结点时,相关信息将从 BCP 列表中自动清除,所以在数据突发 DB- i 还未到达该结点前可以修改其所对应 BCP 中的相关值,如 offset time、波长信道标志、端口标志等信息并形成新的 BCP- i ,沿着已经建立的路径向下游发送,在所经历各核心结点处对 DB- i 已经设定的波长预约信道进行调整.

第 4 步:如果无法为被 FDL 缓冲的低优先级 DB 重新分配波长信道,则丢弃该 DB.

3 OBS 网络仿真模型与结果分析

选择一个由 6 个核心结点和 12 个边缘结点所组成的 OBS 网络,光纤链路速率为 10 Gbit/s,各结点之间的 DB 平均传输时延为 100 μ s,从源边缘结点到目的边缘结点的路径为固定最短路由.

假设核心结点有多个输入、输出光纤端口,每个光纤中有 8 个数据波长信道,结点上配置共享 FDL 缓存器,其中 FDL 数量为 M ,基本延时单位为 D ,则 FDL 的最大延时,即缓存深度为 $B = (M - 1) \times D$;数据突发和突发控制分组均以 Poisson 过程到达结点,平均到达率为 λ ,结点对 DB 的平均服务率为 μ ,DB 长度为负指数分布,以时间表示其平均长度为 L ,所有 DB 和其 BCP 之间的 offset time 为均匀分布;网络中仅有 class 1 和 class 0 两种不同优先级的 DB 存在,其中 class 1 为高优先级.结点中配置全范围波长转换器.

在上述核心结点和 OBS 网络的假设条件下,使用 OPNET 网络仿真工具来分析采用数据突发缓存调度策略时的各项网络性能,主要是 DB 的端到端时延(ETE Delay)和数据突发丢失率(BLP).

3.1 DB 的端到端时延和丢失率与网络业务量的关系

当 $D = L = 1/\mu = 10 \mu$ s,即 class1 和 class0 两级 DB 的平均长度均为 12.5 kbit,两级 DB 对网络的输入业务量相等,offset time 分布服从(60 μ s, 100 μ s)的均匀分布时,图 3 和图 4 分别为在不同的网络业务量下,对应 $B = 10$ 和 $B = 20$ 时 class1, class0 和其均值及无级别(classless)公平策略下的 ETE delay 和 BLP 的变化曲线.

从图 3 可看出:①高优先级 class1 的端到端时延得到了显著改善,充分体现了抢占策略下高优先级 DB 的优势,说明本策略可以有效地减小高优先级 DB 的端到端时延;②本策略下的端到端时延均值和无级别公平策略下的端到端值基本相同,说明本策略下的高优先级端到端的改善虽然是以牺牲低优先级 DB 的端到端时延性能为代价的,但是并没有造成系统总体性能的恶化.

从图 4 可看出:①随着 B 的增加,各等级 DB 的 BLP 和系统 BLP 的均值都下降了,说明结点 FDL 缓存器容量的增加使得竞争的 DB 得到更加有效的缓存而减小了丢失概率;②高优先级 DB 的丢失率最小,而且随着业务量的增加其效果越显著,如在业务量为 0.8, $B = 20$ 时, class1 的 BLP 比 class0 的 BLP 低了 60% 以上,比无级别公平策略下的 DB 丢失率低了 35% 以上,这说明本策略可以有效地降低高级别 DB 的 BLP;③本策略下的网络系统平均 BLP 和无级别公平策略下的 DB 丢失率基本相同,但随着 B 值的增加将会略高

于后者. 这说明第 1, 高优先级 DB 的低 BLP 是以加剧低优先级 DB 的 BLP 升高为代价的; 第 2, 在 FDL 缓存深度 B 较大的情况下, 虽然 DB 区分优先级的策略可以降低高优先级 DB 的 BLP, 但却不能保证系统平均数据突发丢失率的同比下降.

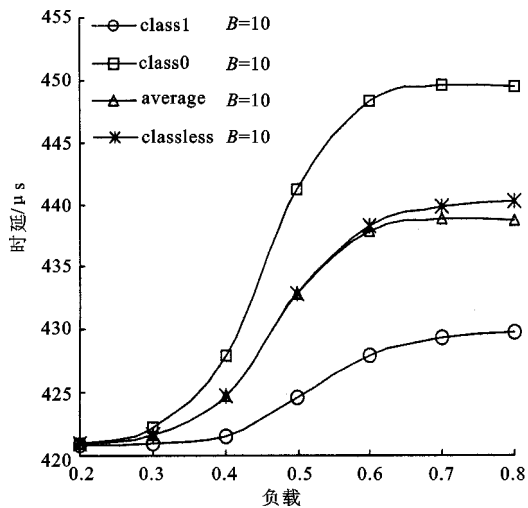


图 3 数据突发的端到端时延曲线

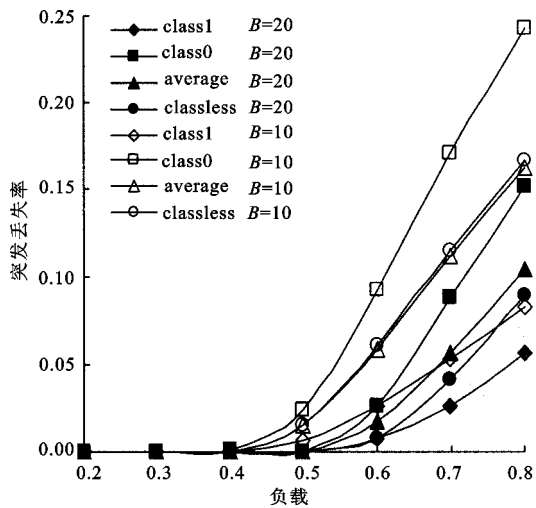


图 4 数据突发丢失率曲线

3.2 各优先级 DB 业务量比例对系统中 BLP 的影响

在 $L = L_1 = L_0 = 1/\mu = 10 \mu s$, $B = 10$, 系统业务量 $\rho = \rho_0 + \rho_1 = 0.6$ 的条件下, 从图 5 仿真结果可见: 公平策略时, 两种等级 DB 得到公平对待, 因为总的业务量没有变化, 丢包率保持不变, 所以业务量比率的变化对 BLP 性能没有影响; 优先级策略时, 高优先级 class1 的 BLP 明显小于 class0 的 BLP, 但是随着 class1 的业务量在网络中所占比例的增加, 其丢包率因为同级之间的竞争加剧而上升, 虽然低等级 DB 因为高等级 DB 的抢占而使其 BLP 增加, 但是由于它的业务量比例的减少使得网络中平均丢包率下降, 当 $\rho_1 / \rho_0 > 0.8$ 时, 抢占策略下的网络 BLP 平均值低于公平策略的 BLP, 逐渐体现出抢占策略的优势. 然而, 为避免高优先级 DB 的过多丢失, 建议在 OBS 网络中高优先级业务量所占比例小于 0.8.

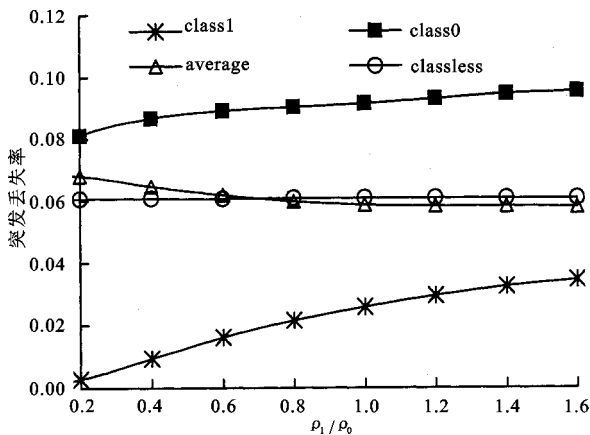


图 5 业务量比例对 BLP 的影响

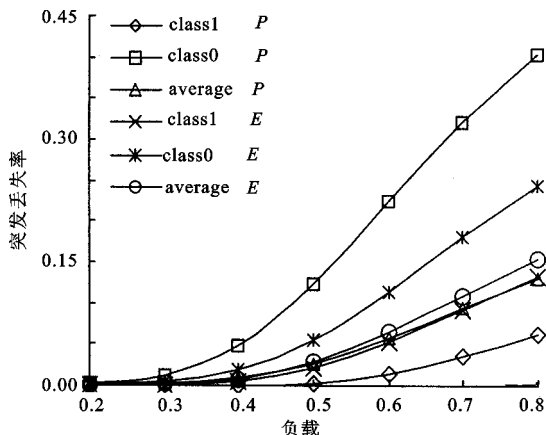


图 6 突发长度对 BLP 的影响

3.3 数据突发长度对 BLP 的影响

在文献[5]中所介绍的按突发长度优先级分类策略, 组装数据突发时使得高优先级 DB 的长度较短, 这样它在核心结点上可以更好地利用 LAUC-VF 插调度策略以降低 DB 的丢失率. 在本策略下, 当 $B = 10$, $L = L_0 = 4L_1 = 1/\mu = 10 \mu s$, 即高优先级 DB 的平均长度 L_1 仅为低优先级 DB 的平均长度 L_0 的 1/4 时, 图 6 所示为网络中系统业务量对它们 BLP 影响的仿真结果. 其中 P 表示本抢占策略, E 代表公平策略.

从图 6 可看出: 相比在公平策略下使用突发长度分类优先级方法, 突发延滞调度策略在系统中对于突发长度较短的高优先级 DB 具有更低的 BLP 效果. 但是此时由于低级别的 DB 丢失率随着网络业务量的增加

上升太快,所以建议在短时间内为保证具有特殊要求的高优先级业务的 QoS,可以在边缘结点组装为平均长度相对较短的 DB,并在网络中应用突发延滞调度策略.

3.4 数据突发的端到端时延和丢失率与 FDL 的关系

文献[6]表明:FDL 的使用会造成结点等效负载的增加,而且等效负载与 D/L 有直接的关系.图 7 和图 8 所示为,当系统业务量 $\rho=0.6$ ($\rho_1 = \rho_0 = 0.3$), $B=10$ 时, D/L 对系统 ETE 和 BLP 的影响.

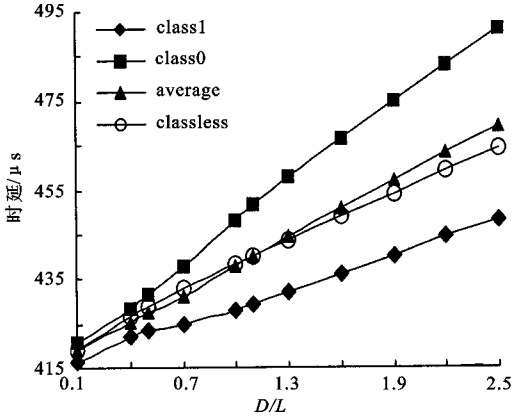


图 7 D/L 对端到端时延的影响

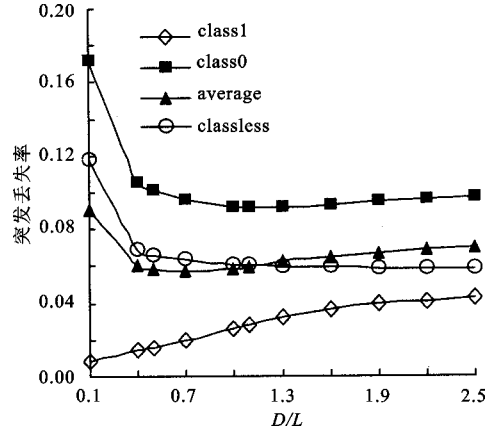


图 8 D/L 对突发丢失率的影响

从图 7 可以看出:无论是公平策略 classless 还是具有优先级的 FDL 缓存 DB 调度策略,它们的 ETE delay 都随着 D/L 的增加而呈近似直线上升之势,但是高优先级 class1 的 ETE delay 仍然是最小的.这说明:FDL 的基本延时单位 D 严重影响 DB 的 ETE delay,而且当 $D/L > 1$ 之后,本策略下的平均 DB 端到端的时延将大于公平策略下的 ETE delay.这是由于 FDL 缓存延时单元的离散性所造成的, D 取值太大,将会破坏 DB 在 FDL 中的排队性能,加大空隙和缓存深度,延长排队时间,同时还造成 FDL 的浪费.根据图 7 所示,建议 $D/L \leq 1$.

如图 8 所示, D/L 的取值基本没有影响高优先级 class1 的 BLP 在系统中的优势,但是当 $D/L > 1$ 之后,无论是公平策略 classless 还是本策略下的 DB 丢失率对于其取值变化并不敏感,而且当 $D/L > 1$ 之后,本策略下的系统 DB 平均丢失率将大于公平策略下的 DB 丢失率.对比图 4 中 $B=20$ 的情况也说明同样的问题.由此还证明:文献[7]中所说的对于核心结点处 FDL 基本延时单位 D 为 2 至 3 倍的平均数据突发长度的情况下 DB 丢失率较低的结论和 OBS 网络中的情况是有区别的.这说明,无限制的加大 FDL 的基本延时单位 D 并不能取得降低系统 BLP 的好处.建议 $0.4 < D/L < 1$.

4 结束语

笔者提出的 OBS 网络核心结点中数据突发缓存调度的新策略利用 FDL 缓存器可以有效地解决在 OBS 网络中数据突发竞争的问题.当竞争发生时,如果竞争 DB 为高优先级,则利用该策略将已被分配波长信道但还未到达该结点的低优先级 DB 缓存延时,在 OBS 网络中该结点向下游路由各结点重发该 DB 已更改的 BCP 信息,对各核心结点处该 DB 已经预约的波长信道进行调整.这样可以尽可能地降低实时性高优先级 DB 的丢失率和端到端时延,提供良好的 QoS 保证.通过 OBS 网络系统的仿真研究了网络业务流量、DB 优先级长度和 FDL 缓存深度对系统网络中 DB 的丢失率和端到端时延的影响,并且得出了 D/L 的最佳关系,同时仿真结果还证实了该策略和 FDL 公平策略相比较,高优先级 DB 的丢失率最小,而且随着业务量的增加其效果越显著,这也充分说明本策略在 OBS 网络中的实用性和优异性.

参考文献:

[1] Yao Mingwu, Liu Zengji, Wen Aijun. A New Scheme for Sharing Wavelength Converters in Optical Burst Switching Nodes[J]. Journal of Xidian University, 2005, 32(4): 528-531.