

OBS网络中基于优先级与参数可调的偏射路由算法

管爱红,王波云,张元,傅洪亮

(河南工业大学信息科学与工程学院,河南郑州 450001)

摘要: 为了保证 OBS 网络中不同优先级业务的服务质量和解决偏射算法在偏射控制上的问题,提出一种基于优先级与参数可调的偏射路由算法.该算法通过设置可调参数“偏射概率”来控制冲突突发包的偏射,并从可调丢包率和偏射路径长度意义上寻找最佳偏射路由.当冲突发生时,分割优先级低的突发包,并将分割突发包偏射到空闲的链路上;在空闲的链路中选择若干条“在偏射路径上第 k 级突发包和总突发包的可调丢失率最小”的路由作为候选路由,最后在这些候选路由中选择一条偏射路径长度最短的最佳偏射路由.仿真结果表明,该算法能够有效地降低整个网络的丢包率,很好地保护高优先级突发包的完整性,并且在一定程度上可以有效地减少端到端的传输时延,减轻偏置时间对偏射突发服务质量保证的压力,从而提高整个网络的性能.

关键词: 光突发交换;偏射路由;优先级;参数可调;服务质量

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2011)07-1668-05

A Deflection Routing Algorithm Based on Priority and Parameter-tunable in Optical Burst Switching Networks

GUAN Ai-hong, WANG Bo-yun, ZHANG Yuan, FU Hong-liang

(College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: In order to guarantee quality of service (QoS) of different priority bursts and solve the problem of deflection control of deflection algorithm in OBS networks, a deflection routing algorithm based on priority and parameter-tunable in OBS networks is proposed. It intercalates the definition of a tunable-parameter (deflection probability) to control the deflection of contending bursts, and searches the optimum deflection path in terms of the burst loss probability and the deflection path length. When competition occurs, low priority bursts are segmented, and the segmentation part of bursts are deflected to free links. The algorithm selects many candidate routes which the tunable-burst loss probability of the first k priority burst and overall bursts in the deflection path is the least. At last, it chooses the shortest deflection path. Simulations show that the algorithm can reduce the burst loss probability of entire networks and protect the integrity of some high priority bursts. It also can efficiently reduce the delay, and reduce the offset time deficit on QoS guarantee. So the scheme can improve the performance of OBS networks.

Key words: Optical Burst Switching (OBS); deflection routing; priority; parameter-tunable; Quality of Service (QoS)

1 引言

光突发交换 (Optical Burst Switching, OBS) 技术因具有交换粒度适中、灵活性较强、实现难度适中等优点而被认为是未来光网络中最具有可实现性的一种交换技术^[1,2]. 在 OBS 网络中, 两个或多个突发包要求从某核心节点的同一端口、同一波长、同时发送时, 就会产生突发包冲突. 在核心路由器中对突发数据包 (Burst Data Packet, BDP) 实施偏射路由是一种效果良好的冲突解决方法^[3,4]. 文献[3]提出引入一个固定参数来控制冲突突发包的偏射, 其既不能适应网络负荷的动态变化, 也不能为不同优先级突发包提供服务质量 (Quality of Service, QoS) 保证, 偏射效果较差. 最短路径偏射路由算

法^[5] (The Shortest Path Deflection Routing Algorithm, SPDR) 是将冲突的整个突发包偏射到所有空闲链路中最短的路由上, 没有考虑到其他源宿对间的路由和业务量分布情况, 在非对称的网络中, 容易造成链路上负载的不均衡, 从而加大了 OBS 网络的突发阻塞率^[4]. 基于可调参数偏射路由算法^[6] (The Tunable-Parameter Deflection Routing algorithm, TPDR) 以可调参数“偏射概率”来控制冲突突发包的偏射, 并在非线性规划下, 从丢包率和偏射路径长度两个因素上寻找最佳偏射路由, 但其没有考虑到应该偏射哪些冲突突发包, 是否对突发包进行“先分割后偏射”处理等问题, 不能很好的保证网络的 QoS. 基于优先级的偏射路由算法是将优先级低的突发包分割偏射到偏射链路上, 剩余部分在原来预留的链路上传输,

这种方法虽然考虑到了突发数据包的优先级,但是它多是采用无条件随机选择偏射路由机制,这种偏射机制不仅浪费了主路由上的链路利用率,而且多占用了偏射路由上的链路资源,从而恶化网络性能。

为了降低突发包的丢失率,保证 OBS 网络的 QoS, 本文提出一种基于优先级与参数可调的偏射路由算法 (the Priority and Parameter-Tunable Deflection Routing algorithm, PPTDR). 该算法主要包括: (1) 根据突发包的优先级进行“先分割后偏射”处理; (2) 以可调参数“偏射概率”来控制分割突发包的偏射, 从可调丢包率和偏射路径长度两个因素上为分割突发包寻找最佳偏射路径。

2 PPTDR 算法

2.1 算法思路的描述

为研究方便, 只选取一个竞争突发数据包 (Competition Burst Data Packet, CBDP) 和一个原突发数据包^[7] (Original Burst Data Packet, OBDP). s 表示源节点, d 表示目的节点, $i, (i+1), j$ 和 h 均表示核心节点. 在配置有完全波长转换器的核心节点中, 假设: $i - (i+1)$ 拥有最好的空闲光纤链路资源, 即突发控制包 (Burst Control Packet, BCP) 根据恰量时间协议为突发包预留的链路资源, 其为主路径; $i - j - (i+1)$ (路径 1) 和 $i - h - (i+1)$ (路径 2) 拥有次最好的空闲光纤链路资源, 其为偏射路径^[8]. 突发包的阴影部分表示由于冲突而被分割偏射的部分, P_o 和 P_c 分别为原突发包和竞争突发包的优先级, o 和 c 分别为原突发包和竞争突发包。

(1) 如果原突发数据包的优先级大于竞争突发数据包的优先级, 即: $P_o > P_c$, 那么就将 CBDP 进行头部分割处理, 分割成突发包 CBDP' 和突发包 CBDP''. 未受影响的突发包 CBDP' 部分和突发包 OBDP 直接占用主路径 $i - (i+1)$ 的链路资源, 在主路径上将它们传至目的地, 见图 1. 冲突部分的突发包 CBDP'' 偏射到空闲路径上, 如果没有空闲的偏射路径, 则该 CBDP'' 被丢弃。

如果有多条空闲的偏射路由, 那么该算法为 CBDP'' 选择一条最佳的偏射路由. 为避免不必要的偏射, 同时基于突发丢失概率的考虑, 该算法首先通过 β_k 和 β 两个数据丢失代价因子来调节在偏射路径上第 k 级突发

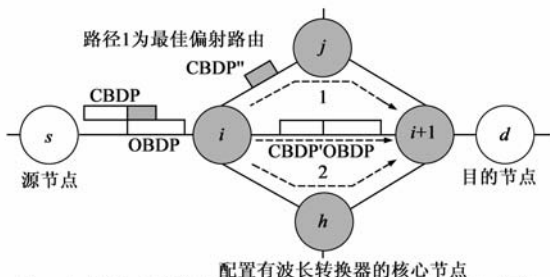


图1 当竞争突发数据包头部分割时, 基于优先级与参数可调偏射路由方法示意图

包的丢失率 ($B(k)$) 和总的丢包率 (B), 则可调丢包率分别为 $B^k(k)$ 和 B^{β} . 如果满足: $B^k(k)$ 和 B^{β} 为最小, 则此路由为候选路由, 否则为非候选路由. 同时, 为改善突发包端到端的传输时延, 该算法从候选路由中选择一条偏射路径长度最短的路由作为最佳偏射路由。

如图 1 所示, 假设路径 1 和路径 2 都满足: $B^k(k)$ 和 B^{β} 为最小, 那么, 路径 1 和路径 2 是 CBDP'' 可选的两条候选路由; 同时, 如果路径 1 可以使得偏射路径长度 (D) 最短, 那么路径 1 就是所选的最佳偏射路由, 于是将 CBDP'' 偏射到路径 1 上。

(2) 如果竞争突发数据包的优先级大于原突发数据包, 即: $P_c > P_o$, 那么就将 OBDP 进行尾部分割处理, 分割成突发包 OBDP' 和突发包 OBDP''. 未受影响的突发包 OBDP' 部分和突发包 CBDP 直接占用主路径 $i - (i+1)$ 的链路资源, 在主路径上将它们传至目的地, 见图 2. 冲突部分的突发包 OBDP'' 偏射到空闲的路径上, 如果没有空闲的偏射路径, 则该 OBDP'' 被丢弃。

该算法为 OBDP'' 选择一条最佳偏射路由的方法同上述. 如图 2 所示, 假设路径 1 和路径 2 都满足: $B^k(k)$ 和 B^{β} 为最小, 那么, 路径 1 和路径 2 是 OBDP'' 可选的两条候选路由; 同时, 如果路径 1 可以使得偏射路径长度最短, 那么路径 1 就是所选的最佳偏射路由, 就将 OBDP'' 偏射到路径 1 上。

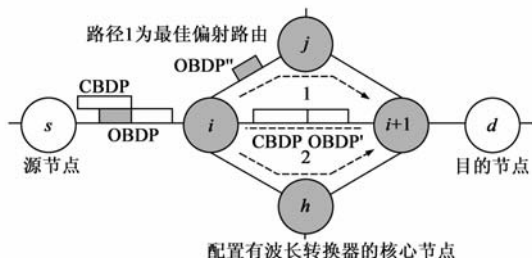


图2 当原突发数据包尾部分割时, 基于优先级与参数可调偏射路由方法示意图

2.2 算法处理过程

假设突发包在 OBS 网络核心节点处出现冲突. 算法处理过程分为以下几个步骤:

(1) 发生冲突时, 根据它们的优先级进行分割偏射. 将低优先级的突发包进行分割, 无冲突部分直接传输到下一节点; 冲突部分进行偏射。

(2) 中间某节点接收到一个 BDP; 判断是否有空闲的偏射路由. 如果有, 中间节点为接收到的 BDP 预留链路资源; 如果没有, 该 BDP 被丢弃。

(3) 在空闲的偏射路由中, 如果满足: $B^k(k)$ 和 B^{β} 为最小, 则这些偏射路由为偏射该 BDP 的候选路由; 否则, 将该 BDP 发送回前一节点。

(4) 在可选的候选路由中, 选择一条偏射路径长度最短的路由, 则此路由为最佳偏射路由, 将 BDP 偏射到

该路径上.图3给出了基于优先级与参数可调偏射路由算法流程图.

2.3 数学模型的建立

这里,设 $G = (N, E)$ 表示一个 OBS 网络,其中 N 为节点集合, E 为链路集合. i, j 为网络中的相邻节点,定义 n 为突发包优先级的数目, m 为每条链路上所支持的波长数目, k 为突发包优先级的级数, ρ 为网络负荷.

该算法用突发包的丢失率和偏射路径长度两个参数来评价第 k 级突发包的偏射路径.因此,最佳偏射路径应该满足以下 3 个条件^[6]:①第 k 级突发包在该偏射路径上的丢失率应该最小化;②引入的第 k 级偏射突发包对在该偏射路径上的其它各优先级突发包的影响应该最小化(该偏射路径上总的丢包率);③偏射路径长度也应该最小化.综合最佳偏射路径的 3 个条件,构造偏射路径最优化目标函数为 $\text{Min}\{A\}$ ^[9].

为了便于描述第 k 级突发包如何寻找最佳偏射路径,定义以下变量: $x_{i,j}(k)$ 为线性整数规划得到的最优解; $\rho_{i \rightarrow j}(k)$ 为第 k 级突发包由节点 i 偏射到节点 j 而在 $\text{link}(i, j)$ 上引入的偏射负荷; $\rho_{i,j}$ 为 $\text{link}(i, j)$ 上原有的输入负荷; $B_{i,j}(k)$ 为第 k 级突发包偏射后, $\text{link}(i, j)$ 上第 k 级突发包的丢失率; $B_{i,j}$ 为第 k 级突发包偏射后, $\text{link}(i, j)$ 上总的丢包率; $D_{i,j}$ 为节点 i 与节点 j 的传播时延与 BCP 处理时间之和; β_k 和 β 分别为第 k 级突发包的丢失率和总的丢包率的数据丢失代价因子.

目标函数: $\text{Min}\{A\}$.

$$\text{其中, } A = \sum_{i,j} [x_{i,j}(k)\rho_{i \rightarrow j}(k)(D_{i,j} + B_{i,j}^{\beta_k}(k)) + x_{i,j}(k)\rho_{i,j}(D_{i,j} + B_{i,j}^{\beta})] \quad (1)$$

约束条件为:

$$x_{i,j}(k) = \begin{cases} 1, & \text{若 } \text{link}(i, j) \in \text{偏射 } \text{link}(s, d) \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad \forall i, j, s, d \in N. \quad (2)$$

其中,根据流守恒原则, $x_{i,j}(k)$ 的约束条件为:

$$\sum_{j \in N} x_{i,j}(k) - \sum_{i \in N} x_{i,j}(k) = \begin{cases} 1, & \text{若 } i \text{ 为源 } s \\ -1, & \text{若 } i \text{ 为目的 } d \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad \forall i, j, s, d \in N; k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

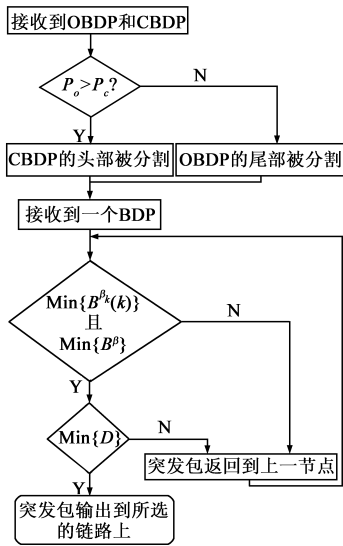


图3 基于优先级与参数可调的偏射路由算法流程图

假设: $r_{i,i+1}(k)$ 为 $\text{link}(i, i+1)$ 上第 k 级突发包的负荷占总负荷的比例; $\rho_{i,i+1}$ 为 $\text{link}(i, i+1)$ 上的输入负荷; $B_{i,i+1}(k)$ 为 $\text{link}(i, i+1)$ 上第 k 级突发包的丢失率; $P_{i,i+1}(k)$ 为第 k 级突发包从 $\text{link}(i, i+1)$ 到 $\text{link}(i, j)$ 的偏射概率,则可以得到:

$$\rho_{i \rightarrow j}(k) = [r_{i,i+1}(k)\rho_{i,i+1}]B_{i,i+1}(k)P_{i,i+1}(k) \quad (4)$$

偏射概率随冲突突发包的优先级与网络负荷自适应的变化,并且通过大于零的常数影响因子 α 来调节,故可以定义偏射概率为:

$$P_{i,i+1}(k) = [1 - r_{i,i+1}^{\alpha/k}(k)]B_{i,i+1}(k) \quad (5)$$

其中,根据流守恒原则,式(5)的约束条件为:

$$\sum_{k=1}^n [1 - r_{i,i+1}^{\alpha/k}(k)] = 1 \quad (6)$$

假设: $C_{i,j}(k)$ 为偏射后, $\text{link}(i, j)$ 上第 k 级突发包在总负荷中所占的比例,各优先级突发包相互独立,则可以得到 $B_{i,j}(k)$ 为^[10]:

$$B_{i,j}(k) = \frac{B[\sum_{a=1}^k (\rho_{i \rightarrow j}(a) + \rho_{i,j}), m] - \sum_{a=1}^{k-1} C_{i,j}(a)B_{i,j}(a)}{C_{i,j}(k)} \quad (7)$$

其中, $B(\rho, m)$ 为 Erlang-B 公式,其表达式为:

$$B(\rho, m) = \frac{\rho^m/m!}{\sum_{i=0}^m \rho^i/i!} \quad (8)$$

$$C_{i,j}(k) = \frac{\rho_{i \rightarrow j}(k) + \rho_{i,j}f_{i,j}(k)}{\rho_{i,j} + \sum_{a=1}^n x_{i,j}(a)\rho_{i \rightarrow j}(a)} \quad (9)$$

类似的,可以得出:

$$B_{i,j} = B[\rho_{i,j} + \rho_{i \rightarrow j}(k), m] \quad (10)$$

假设 δ_k 为 BCP 与 BDP 间的初始偏置时间,为了使偏射路径长度最小化,第 k 级偏射突发包在偏射路径上满足的时延条件为:

$$\sum_{i,j} x_{i,j}(k)D_{i,j} \leq \delta_k, \quad \forall i, j \in N; k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

由式(5)可知,偏射概率随冲突突发包的优先级和网络负载而自适应的变化,并且可以通过调节常数影响因子 α ,实现冲突突发包相关偏射业务的动态控制.由式(1)可知,通过调节 β_k 和 β 两个数据丢失代价因子,偏射路径最优化目标函数就可以调节两个丢包率参数对偏射路径选择的影响.在式(2)~式(11)的约束下,由式(1)的线性整数规划可得到一组最优解,即得到一组向量 $\{x_{i,j}(k)\}$,由此可以得到第 k 级冲突突发包从源节点 s 到目的节点 d 的最佳偏射路径.

3 仿真分析

为了分析该算法的性能,利用图4所示的 NSFNET 网络拓扑和 Matlab 仿真软件对 SPDR、TPDR 和 PPTDR 算

法进行了模拟仿真. 这里, 设定网络中存在着两种不同优先级突发数据包, Class1 和 Class2, 且突发包 Class1 的优先级高于突发包 Class2 的优先级, 其进入 OBS 网络系统的到达率分别为: 2, 10, 其占总突发包比例分别为: 40%, 60%. 假设网络中有 14 个核心节点, 21 条链路, 每个核心节点外接一个边缘路由器, 每条链路有一对双向光纤, 每条光纤有 9 个波长 (1 个为控制信道, 8 个为数据信道). 假设每个核心节点具有完全波长变换能力, 每条光纤的波长分配采用 first-fit 算法. 边缘节点 IP 流按照 Poisson 过程到达, IP 包的平均长度为 1250 字节, 传输速率为 10G bit/s, 数据突发是由整数个 IP 经边缘节点汇聚而成, 突发数据包以参数为 λ 的 Poisson 过程到达, 其长度 L 服从均值为 1M bits 的指数分布, 其传输速率为 10G bit/s. 在计算端到端的传输延时^[11,12], 假设突发包经过每个节点的排队与处理时延和交换时延之和为 0.1ms. 每个节点的流量以 Erlang 负载表示, 14 个边缘节点同时向核心网络发送数据, 目的地址随机选取除源节点外的其它 13 个节点, 核心节点采用最迟可用未占用信道算法调度突发包.

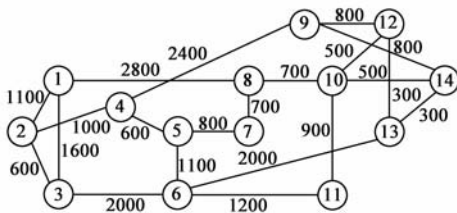


图4 NSFNET网络拓扑示意图

图5给出了 SPDR、TPDR 和 PPTDR 三种算法下, 突发包 Class1 和突发包 Class2 的丢失率随网络负荷变化的关系. 由图可知, 三种算法下, 都可以得到突发包 Class1 的丢失率低于突发包 Class2 的丢失率, 即它们都能够很好的保证高优先级突发包的 QoS. 当网络负荷较轻时, 即当 $\rho < 0.3$ 时, 前两种算法得到的丢包率要低于 PPTDR 算法得到的丢包率; 但是当网络负荷较重时, 即当 $\rho > 0.3$ 时, PPTDR 算法得到的丢包率最小, 其性能最优, 其次是 TPDR, 最差的是 SPDR. 这表明: 简单的最短路径偏射路由算法并不能导致网络性能的改善, 因为

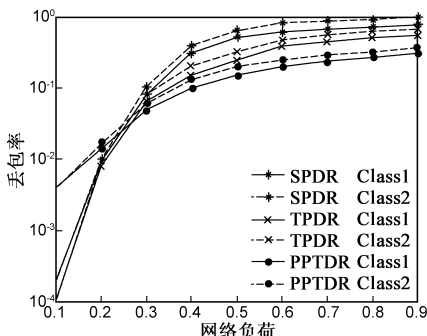


图5 SPDR、TPDR和PPTDR算法下, 不同优先级突发包丢失率与网络负荷的关系($\alpha=2, \beta=\beta_k=1$)

这种算法使最短路径上突发数据包的流量急增, 容易造成链路上负载不均衡, 从而增加了更大的阻塞, 特别是当网路负荷较大时, 其会导致大量的突发包被丢弃; PPTDR 控制策略比 TPDR 更加有效, 因为 PPTDR 引入了基于优先级对冲突突发包进行“先分割后偏射”处理, 这样就有效降低了突发包之间的阻塞, 保证了高优先级突发包的 QoS. 由计算可知, PPTDR 算法得到的平均丢包率比 TPDR 算法得到平均丢包率下降了 10.5%.

图6仿真了 SPDR、TPDR 和 PPTDR 三种算法下, 网络总的丢包率与网络负荷的关系, 这里总的丢包率是所有“源-目的”流总丢包率的平均值. 由图可知, 网络总的丢包率随网络负荷的增加而增大, 采用 PPTDR 算法得到网络总的丢包率最小. 当 $\rho < 0.4$ 时, 网络总丢包率随网络负荷增加而增大的幅度比较大; 当 $\rho > 0.4$ 时, 网络总丢包率随网络负荷增加而增大的幅度比较平缓. 特别是当网络负荷较小时, 其效果非常明显.

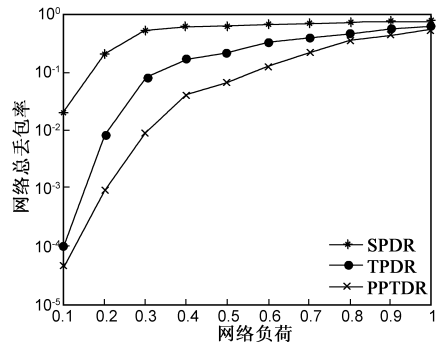


图6 SPDR、TPDR和PPTDR算法下, 网络总丢包率与网络负荷的关系($\alpha=2, \beta=\beta_k=1$)

图7模拟了 SPDR、TPDR 和 PPTDR 三种算法下, 端到端的传输延时随网络负荷变化的关系. 为了便于考虑偏射路由的时延特性, 以 SPDR 算法的时延对 TPDR 算法和 PPTDR 算法的偏射时延进行归一化. 由图可知, 在任何网络负载情况下, TPDR 和 PPTDR 算法确定的路径都有一定的额外时延, 且采用 PPTDR 算法得到的时延要小于 TPDR 算法得到的时延. 在最坏的情况下, PPTDR 算法与 SPDR 算法得到的传输时延最大差距不

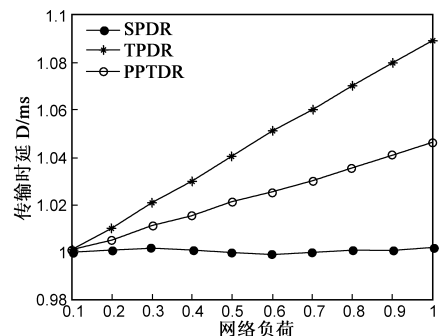


图7 SPDR、TPDR和PPTDR算法下, 传输时延与网络负荷的关系(传输时延的单位为: ms)($\alpha=2, \beta=\beta_k=1$)

超过 0.05ms. 所以, 虽然该算法增加了一定的传输时延, 但对整个网络系统的影响不大. 这主要归结于式 (1) 中的 $(x_{i,j}(k)\rho_{i \rightarrow j}(k)D_{i,j})$ 和 $(x_{i,j}(k)\rho_{i,j}D_{i,j})$ 两项, 由此可以得出: 若输入网络负荷较大时, 偏射传输路径应该短. 因此, 随着网络负荷的增加, PPTDR 算法尽可能的选择最短偏射路径.

4 结论

本文提出了一种基于优先级与参数可调的偏射路由算法. 该算法的主要思想是: 根据突发包的优先级进行“先分割后偏射”处理; 以可调参数“偏射概率”来控制分割突发包的偏射, 从可调丢包率和偏射路径长度两个因素上为分割突发包寻找最佳偏射路径. 该算法的偏射控制策略以“偏射概率”为基础, 并构造了一个以可调丢包率和偏射路径长度为优化目标的函数, 在相应的约束条件下, 通过非线性规划来寻找最佳偏射路径. 仿真结果表明, 该算法能够有效地降低整个网络的丢包率, 并且在一定程度上可以有效地减少端到端的传输时延, 减轻偏置时间对偏射突发服务质量保证的压力. 寻找更能提高 OBS 网络性能的可调参数, 以及目标函数的优化和约束条件的简化, 将是我们以后进一步研究的工作重点.

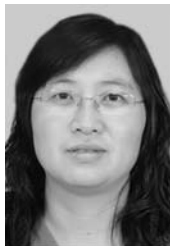
参考文献

- [1] QIAO C, YOO M. Optical burst switching (OBS)-a new paradigm for an optical internet [J]. Journal of High Speed Network, 1999, 8(1): 69 - 84.
- [2] 姚明, 文爱军, 等. VS-OBR: 一种无冲突虚同步光突发环网[J]. 电子学报, 2010, 38(7): 1511 - 1516.
Yao Ming-wu, Wen Ai-jun, et al. VS-OBR: A conflict-free virtual synchronization optical burst ring [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(7): 1511 - 1516. (in Chinese)
- [3] CHEN Y, WU H Y, XU D H, et al. Performance analysis of optical burst switched node with deflection routing [A]. Proceedings of International Conference on Communications [C]. Anchorage, Alaska, USA: IEEE, 2003. 1355 - 1359.
- [4] 王汝言, 等. 光突发交换网络中一种基于负载均衡的路由机制[J]. 电子学报, 2006, 34(11): 2085 - 2089.
Wang Ru-yan, et al. Load-balancing routing mechanism in optical burst switching networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(11): 2085 - 2089. (in Chinese)
- [5] THODIME G P V, et al. Dynamic congestion-based load balanced routing in optical burst switched networks [A]. Proceedings of IEEE Globecom Conference [C]. California, USA: IEEE, 2003. 2694 - 2698.
- [6] 阳小龙, 隆克平, 等. 可调参数偏射路由: 一种光突发竞争解决算法[J]. 光电子·激光, 2005, 16(12): 1454 - 1458.

Yang Xiao-long, Long Ke-ping, et al. A tunable-parameter deflection routing algorithm to resolve contentions in OBS networks [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2005, 16(12): 1454 - 1458. (in Chinese)

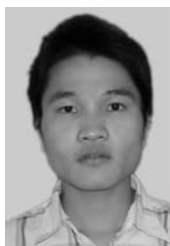
- [7] 侯睿, 孙军强, 丁攀峰. 一种光突发交换网络中基于优先级的冲突解决方法的研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(4): 748 - 751.
Hou Rui, Sun Jun-qiang, Ding Pan-feng. Study on a priority based contention resolution for optical burst switching networks [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(4): 748 - 751. (in Chinese)
- [8] 王晟, 罗蕴涵, 王雄, 等. 一种新的光突发交换节点结构研究[J]. 电子学报, 2004, 32(12A): 86 - 92.
Wang sheng, Luo Yun-han, Wang Xiong, et al. A novel design of photonic switches in optical burst switching networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12A): 86 - 92. (in Chinese)
- [9] LEE S K, KIM H S, SONG J S, et al. A study on deflection routing in optical burst-switching networks [J]. Photonic Network Communications, 2003, 6(1): 51 - 59.
- [10] VU H L, ZUKERMAN M. Blocking probability for priority classes in optical burst switching networks [J]. IEEE Communications Letters, 2002, 6(5): 214 - 216.
- [11] KLINKOWSKI M, CAREGLIO D, SOLE-PARETA J, et al. Performance overview of the offset time emulated OBS network architecture [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(14): 2751 - 2764.
- [12] ALBERTO H J, ARACIL J, DE P L, et al. Analysis of blocking probability of data bursts with continuous-time variable offsets in single wavelength OBS switches [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(12): 1559 - 1568.

作者简介



管爱红 女, 1973 年 10 月生于河南商丘. 副教授, 博士. 主要研究方向: 光纤通信、光交换技术等.

E-mail: guanaihonghust@yahoo.com.cn



王波云 男, 1985 年 9 月生于湖北孝感. 研究生. 主要研究方向: 光网络和光突发交换技术.

E-mail: why514@126.com