

文章编号: 1001-3806(2011)03-0343-05

OBS 中基于优先级与负载均衡的偏射路由算法

王波云, 管爱红*, 张元, 傅洪亮

(河南工业大学 信息科学与工程学院, 郑州 450001)

摘要: 为了解决偏射算法在偏射控制上的问题, 提出了一种基于优先级与负载均衡的偏射路由算法。当冲突发生时, 分割优先级低的突发数据包; 将冲突部分的突发包偏射到空闲的链路上, 并在空闲的链路中选择若干条“当前最大剩余跳数小于源-目的节点的最大跳数”的路由作为候选路由; 最后, 在这些候选路由中选择一条可以使网络中各链路使用波长数的统计方差最小的最佳路由。对该算法进行了理论分析和模拟仿真实验验证, 取得了丢包率和时延随网络负荷变化的一系列数据。结果表明, 该算法得到的端到端的传输时延位于最短路径偏射路由算法和基于负载均衡偏射路由算法之间, 但是该算法能够有效地降低整个网络的丢包率, 并且能够很好地保护高优先级突发数据包的完整性, 从而提高整个网络的性能。

关键词: 光通信; 光突发交换; 偏射路由; 优先级; 负载均衡

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.03.015

A deflection routing algorithm based on priority and load-balancing in optical burst switching networks

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

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

Abstract: In order to solve the problem of deflection control of deflection algorithm, a deflection routing algorithm was proposed based on priority and load balancing in optical burst switching(OBS) networks. When conflict occurs, low priority bursts are segmented at first. Then, the contention part of bursts is deflected to free links. The algorithm selects many candidate routes on which the current maximum number of residual hops less than the maximum number of hops of the source-to-destination nodes. Finally, the algorithm chooses the best route that balances the assigned wavelengths of every links from candidate routes. This algorithm was analyzed in theory and simulated, and a series of data including the packet loss probability and the delay changing with network loads were obtained. Simulation results show that the delay of the proposed algorithm is located between the shortest path deflection routing algorithm and load-balancing deflection routing algorithm. It can efficiently reduce the packet loss probability of the entire network and protect the integrity of some high priority bursts. So the scheme can efficiently improve the performance of OBS networks.

Key words: optical communication; optical burst switching; deflection routing; priority; load balancing

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在未来光网络中最具有可实现性的一种交换技术^[1-3]。在 OBS 网络中, 两个或多个突发数据包(burst data packet, BDP)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 BDP 实施偏射路由是一种效果良好的冲突解决方法^[4-5], 当冲突发生时, 分组不能交换到正确的输出端口, 如果将它路由到另一个可选的输出端口, 则有可能通过另一条路径到达目的节点, 这样仅仅增加了一些额外的传输时延而避免了因丢弃引起的输入端重发, 从而降低了突发数据包的丢包率。最短路径偏射路由算法^[6](shortest path deflection routing, SPDR)是在突发包冲突时, 将其中冲突的整个突发包偏射到所有空闲链路中最短的路由上, 这种方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, 最终会导致大量的突发包被丢弃。基于负载均衡偏射路由算法^[7](load-balancing deflection routing, LBDR)是在突发包冲突时, 对一个请求选择一条可以使网络中的各链路使用波长

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2010A510002)

作者简介: 王波云(1985-), 男, 硕士研究生, 现主要从事光突发交换和光网络技术的研究。

* 通讯联系人。E-mail: gnanaihonghust@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-06-08; 收到修改稿日期: 2010-07-22

数的统计方差最小的路由,这种方法虽然对竞争突发的偏射操作进行了有效的控制,但是其没有考虑到突发数据包的优先级,不能很好地保证 OBS 网络的服务质量(quality of service, QoS)。基于优先级的偏射路由算法是在突发包冲突时,将优先级低的突发包分割偏射到偏射链路上传输至目的节点,剩余部分在原来预留的链路上传输至目的节点,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原有路由上的链路资源,而且多占用了偏射路由上的链路资源,从而恶化网络性能。

为了降低突发数据包的丢失率,节约有限的链路资源,保证 OBS 网络的 QoS,本文中提出了一种基于优先级与负载均衡的偏射路由算法(priority and load-balancing deflection routing, PLBDR),该算法的性能优于最短路径路由机制,并且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数据包的完整性。

1 PLBDR 算法

1.1 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^[8](original burst data packet, OBDP)。在配置有完全波长转换器的核心节点中,假设:A—D 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(just enough time, JET)协议为突发包预留的链路资源,其为主路径(最佳路径);A—B—D(路径 1)和 A—C—D(路径 2)拥有次最好的空闲光纤链路资源,其为偏射路径(次最佳路径)。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,A, B, C, D 表示核心节点。

(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 A—D 的链路资源,在主路径上将它们传输至下一跳,由此将突发包 CBDP'和突发包 OBDP 传至目的地,如图 1 所示。冲突部分的突发包 CBDP"通过偏射路由机制偏射到空闲的路由上,如果没有空闲的偏射路由,则该 CBDP"被丢弃。同时应该注意到,对竞争突发包进行头部分割处理后,控制系统为各个突发包生成对应的 BCP,其包含的相应信息也根据原 BCP 中信息和得到的处理情况进行相应更改。

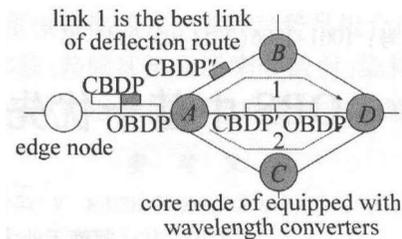


Fig. 1 Sketch map of a deflection routing algorithm based on priority and load-balancing when the head of CBDP is segmented

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。为了避免不必要的偏射,同时基于偏置时间的考虑,该算法在控制分组中加入“当前剩余最大跳数 n_{max} ”这一字段,控制分组每经过一个核心节点,此字段值减 1。如果满足: $n_{max} \leq N_{max}$ (N_{max} 为网络中源-目的节点允许经过的最大核心节点数),则此路由为候选路由,否则为非候选路由。该算法以此字段值作为当前是否偏射以及选择哪条路由偏射的重要依据。同时,为了降低丢包率,提高偏射的成功率,该算法从候选路由中,选择一条使得网络各链路总体的波长使用最均衡的路由作为最佳路由。

如图 1 所示,假设路径 1 和路径 2 都满足: $n_{max} \leq N_{max}$,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 可以使得网络各链路总体的波长使用最均衡,那么,路径 1 就是所选的最佳偏射路由,就将 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的优先级,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 A—D 的链路资源,在主路径上将它们传输至下一跳,由此将突发包 OBDP'和突发包 CBDP 传至目的地,如图 2 所示。冲突部分的突发包 OBDP"通过偏

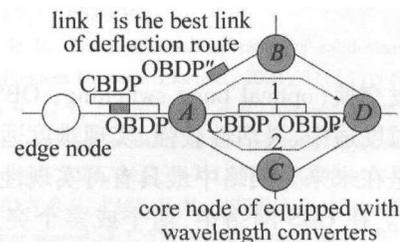


Fig. 2 Sketch map of a deflection routing algorithm based on priority and load-balancing when the tail of OBDP is segmented

射路由机制偏射到空闲的路由上,如果没有空闲的偏射路由,则该 OBDP"被丢弃。同时应该注意到,对原突发包进行尾部分割处理后,控制系统为各个突发包生成对应的突发控制分组,其包含的相应信息也根据原 BCP 中信息和得到的处理情况进行相应更改。

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:

$n_{max} \leq N_{max}$, 那么, 路径 1 和路径 2 是 OBBDP 可选的两条候选路由; 同时, 如果路径 1 可以使得网络各链路总体的波长使用最均衡, 那么, 路径 1 就是所选的最佳偏射路由, 就将 OBBDP 偏射到路径 1 上。

1.2 算法处理过程

假设突发数据包在 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: $n_{max} \leq N_{max}$, 则这些偏射路由为偏射该 BDP 的候选路由; 如果满足: $n_{max} > N_{max}$, 则将该 BDP 发送回前一节点; (4) 在可选的候选路由中, 选择一条使得网络各链路总体的波长使用最均衡的路由, 则此路由为最佳偏射路由, 将 BDP 偏射到该路径上。

图 3 是基于优先级与负载均衡偏射路由算法的流程图。

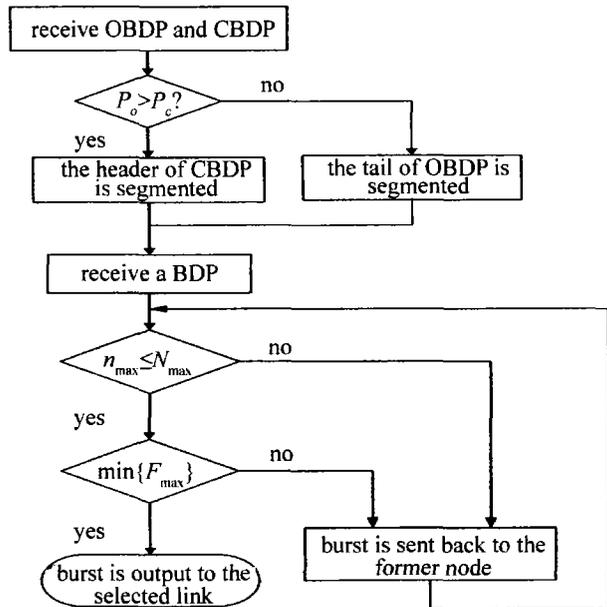


Fig. 3 Flow charts of a deflection routing algorithm based on priority and load-balancing

2 数学模型

2.1 候选路由的确定

假设平均节点处理时间为 t_{node} , 偏置时间为 T_{offset} , N_{max} 为以偏置时间 T_{offset} 和平均节点处理时间计算得到的源-目的节点允许经过的最大核心节点数, 那么可以得出:

$$N_{max} \times t_{node} \leq T_{offset} < (N_{max} + 1) \times t_{node} \quad (1)$$

由(1)式可以得到:

$$\frac{T_{offset}}{t_{node}} - 1 < N_{max} \leq \frac{T_{offset}}{t_{node}} \quad (2)$$

该算法在控制分组中加入的 n_{max} 字段在入口边缘节点控制分组生成时的初始值为 N_{max} 。如果冲突发生, 该算法首先根据当前控制分组中的 N_{max} 字段值来查找是否有可用的偏射路由, 如果从当前节点到目的边缘节点之间有偏射路由, 并且满足 $n_{max} \leq N_{max}$, 那么把此路由放入可选择的偏射路由集合中, 此集合中的偏射路由为候选路由。

2.2 最佳偏射路由的确定

确定好候选路由后, 再通过均衡算法从候选路由中选择, 可以使网络各链路总体的波长使用最均衡的一条最佳偏射路由。

在网络层面使用负载均衡的思想是: 选择一条路由使得各链路使用波长数均衡, 所以各节点对波长资源的竞争概率会降低。但是没有必要对每一个突发分组都采用一次均衡算法达到波长使用的均衡, 这样会增加核心节点的处理负担, 并且也会增大突发包端端的延时, 可以设置一个更新时间 T_{modify} , 每隔 T_{modify} 这样一个时间段执行一次均衡算法^[7]。例如, t_1 时刻执行一次, 那么 t_2 时刻再执行下一次, $t_2 = t_1 + T_{modify}$, 当 t_1 时刻执行负载均衡的路由机制时, 就使得 t_1 时刻网络路由中的波长分配最佳化, 在 t_1 到 t_2 时间段内, 对 t_1 时刻以前的请求维持 t_1 时刻的波长和路由分配方式; 而对这段时间内新到达的请求, 按照最短路由路径机制进行路由和相应的波长分配。在到达 t_2 时间后, 对网络的所有请求按照均衡算法重新做一次选路, 这样就使得对网络的波长和路由分配实时最佳化, 如图 4 所示。在 OBS 网络中, 更新时间 T_{modify} 越小, 则算法性能越好。

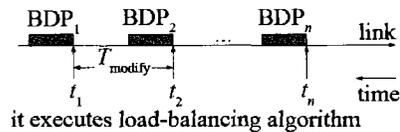


Fig. 4 Sketch map of OBS networks selecting routes according to load-balancing algorithm

为了研究方便, 下面对其进行数学建模。

定义: i, j 为 OBS 网络中的相邻节点; s, d 为端到端流量的源和目的节点; $R_{sd,ij}$ 为源节点 s 到目的节点 d 通过链路 (i, j) 的路径, 通过链路 (i, j) , 则 $R_{sd,ij} = 1$, 否则为 0; $|L|$ 和 n 为网络中的链路数; $|W|$ 为每条链路所包含的波长数; θ_{ij}, θ_{pq} 分别为链路 (i, j) 和链路 (p, q) 的已分配波长数; $\lambda_{ij}, \lambda_{pq}$ 分别为链路 (i, j) 和链路 (p, q) 中的波长, 波长被使用则为 1, 否则为 0; x_i, x_j 分别为第 i 条链路和第 j 条链路已分配的波长数; \bar{x} 为已分

配波长数的平均值; F 为网络中波长分配的不均衡程度。假设:核心节点都具有完全的波长转换功能。

目标: $\min\{F\}$, 其约束条件为:

$$F = \sum_{i,j} \left[\theta_{ij} - \frac{1}{|L|} \sum_{i,j} \theta_{ij} \right]^2, (\theta_{ij} \leq |L|) \quad (3)$$

式中, $\sum_{i,j} R_{sd,ij} \leq |L| \quad (4)$

$$\sum_{s,d} R_{sd,ij} \leq |W| \quad (5)$$

$$\sum_{j,d} R_{sd,ij} \leq |W| \quad (6)$$

$$\sum_{i,s} R_{sd,ij} \leq |W| \quad (7)$$

$$\theta_{ij} = \sum_{\lambda} \lambda_{ij} \quad (8)$$

$$\theta_{pq} = \sum_{\lambda} \lambda_{pq} \quad (9)$$

如果记:

$$n = |L| \quad (10)$$

$$\theta_{ij} = \sum_{\lambda} \lambda_{ij} = X_i, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

那么:

$$\frac{1}{|L|} \sum_{i,j} \theta_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \bar{x} \quad (12)$$

(3)式可以变形为:

$$\begin{aligned} F &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 2x_i\bar{x} + \bar{x}^2] = \\ &= \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i + n\bar{x}^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} = \\ &= \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2 \sum_{i \neq j} x_i x_j}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i \neq j} (x_i - x_j)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

所以可得:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i \neq j} (x_i - x_j)^2 \leq \frac{1}{n} \left(\sum_{i \neq j} |x_i - x_j| \right)^2 \quad (14)$$

故有:

$$F \leq \frac{1}{n} \left(\sum_{i \neq pq} |\theta_{ij} - \theta_{pq}| \right)^2$$

定义:

$$F_{\max} = \frac{1}{|L|} \left(\sum_{i \neq pq} |\lambda_{ij} - \lambda_{pq}| \right)^2 \quad (15)$$

现在目标简化为: $\min\{F_{\max}\}$ 。

3 仿真分析

为了分析该算法的性能,利用图5所示的 NSF-

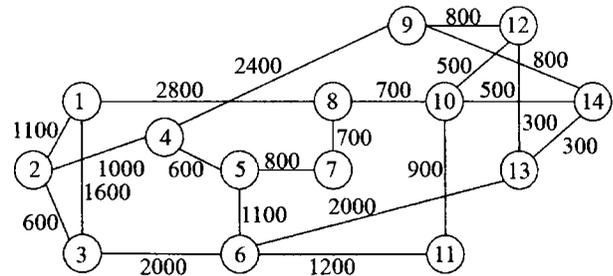


Fig. 5 Sketch map of network topology

NET 网络拓扑和 MATLAB 仿真软件对 SPDR, LBDR 和 PLBDR 算法进行了仿真。这里,设定网络中存在着两种不同优先级突发数据包, class0 和 class1, 且突发包 class0 的优先级高于突发包 class1 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 10Gbit/s, 数据突发是由整数个 IP 经边缘节点汇聚而成, 突发数据包以参量为 λ 的 Poisson 过程到达, 其长度 L 服从均值为 1Mbit/s 的指数分布, 其传输速率为 10Gbit/s。在计算端到端的传输时延^[9-10], 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 (latest available unused channel, LAUC) 算法调度数据突发。

图6中给出了 SPDR, LBDR 和 PLBDR 3种算法

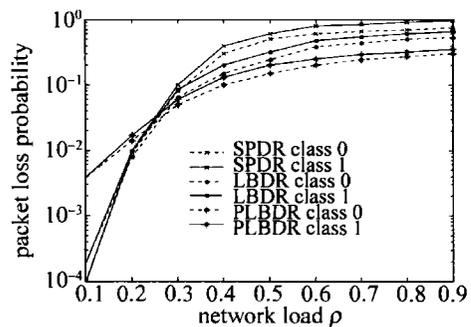


Fig. 6 Relationship between packet loss probability and network load of packet class0 and class1 for SPDR, LBDR & PLBDR

下, 突发包 class0 和突发包 class1 的丢失率随网络负荷变化的关系。由图可知, 3 种算法都可以得到突发包 class0 的丢失率低于发承包 class1 的丢失率, 即得到高优先级突发数据包的丢失率低于低优先级突发数据包的丢失率, 它们都能够很好地保证高优先级突发数据包的 QoS。当网络负荷 ρ 较轻时, 即当 $\rho < 0.3$ 时, 前两种算

法的得到的丢包率要低于 PLBDR 算法得到的丢包率;但是当网络负荷较重时,即当 $\rho > 0.3$ 时,PLBDR 算法得到的丢包率最小,其性能最优,其次是 LBDR,最差的是 SPDR。由计算可知,PLBDR 算法得到的平均丢包率比 LBDR 算法得到平均丢包率下降了 15.5%。

图 7 中仿真了 SPDR, LBDR 和 PLBDR 3 种算法

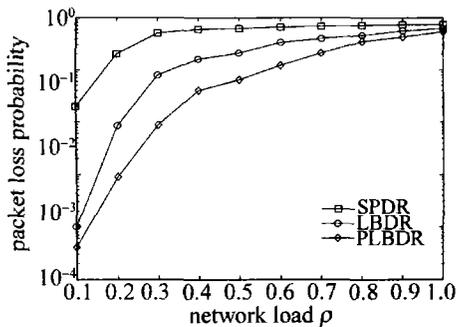


Fig. 7 Relationship between packet loss probability of the entire network and network load for SPDR, LBDR & PLBDR

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。由图可以看出,网络总的丢包率随网络负荷的增加而增大,采用 PLBDR 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 8 中模拟了 SPDR, LBDR 和 PLBDR 3 种算法

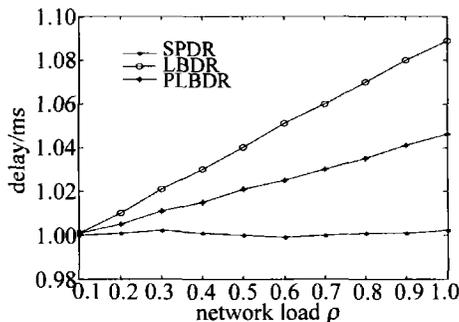


Fig. 8 Relationship between delay and network load for SPDR, LBDR & PLBDR

下,端到端的传输时延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,以最短路由偏射的时延对 PLBDR 算法和 LBDR 算法得到的偏射时延进行归一化。由图可知,在任何网络负载情况下,PLBDR 和 LBDR 算法确定的路由都有一定的额外时延,且采用 PLBDR 算法得到端到端的传输时延要小于 LBDR 算法得到的端到端的时延。在最坏的情况下,PLBDR 算法与 SPDR 算法得到的端到端的传输时延最大差距不超过 0.05ms。所以,虽然该算法增加了一定的端到端的传输时延,但对整个网络系统的影响不大。

4 结论

提出了一种基于优先级与负载均衡的偏射路由算法。该算法是:当冲突发生时,分割优先级低的突发数据包,从而保护高优先级突发数据包;将冲突部分的突发包偏射到空闲的路由上,并在空闲的路由中选择若干条“当前最大剩余跳数小于源-目的节点的最大跳数”的路由作为候选路由;最后,在这些候选路由中选择一条可以使网络中各链路使用波长数的统计方差最小的路由,从而达到减小冲突的目的。仿真结果表明,虽然该算法相比于最短路由算法增加了少量的端到端的传输时延,但是该算法能够有效地降低整个网络的丢包率,并且能够很好地保护高优先级突发数据包的完整性,从而提高整个网络的性能。这些结果对 OBS 网络的设计和优化具有一定的理论指导意义。

核心节点处实现与光缓存相结合或者无波长转换功能或者部分波长转换功能情况下的优化设计方案,以及目标函数的优化和约束条件的简化,将是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] YANG X L, DANG M R, MAO Y J, et al. A novel optical burst assembly technique based on dynamic resource allocation[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(9): 917-924 (in Chinese).
- [3] YOO M, QIAO C, DIXIT S. QoS performance of optical burst switching in IP-over-WDM Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(10): 2062-2072.
- [4] TANIDA H, OHMAE K, CHOI Y B, et al. An effective BECN/CRN typed deflection routing for QoS guaranteed optical burst switching [C]//Global Telecommunications Conference, 2003. San Francisco, California, USA; IEEE, 2003: 2601-2606.
- [5] CHEN Y, WU H Y, XU D H, et al. Performance analysis of optical burst switched node with deflection routing[C]//International Conference on Communications 2003. Anchorage, Alaska, USA; IEEE, 2003: 1355-1359.
- [6] THODIME G P V, VOKKARANE V M, JUE J P. Dynamic congestion-based load balanced routing in optical burst switched networks [C]//Proceedings of 2003 IEEE Globecom Conference. San Francisco, California, USA; December, 2003: 2694-2698.
- [7] WANG R Y, ZHAO Ch Sh, LONG K P. Load-balancing routing mechanism in optical burst switching networks[J]. Acta Electronic Sinica, 2006, 34(11): 2085-2089 (in Chinese).
- [8] HOU R, SUN J Q, DING P F. Study on a priority based contention resolution for optical burst switching networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(4): 747-751 (in Chinese).
- [9] 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.
- [10] LIU Y, QIU Q. Research of FDL structure in OBS core node[J]. Laser Technology, 2005, 29(6): 572-578 (in Chinese).