

# WDM网中一种联合优化的自适应保护算法

何荣希

(大连海事大学信息工程学院 辽宁 大连 116026)

**【摘要】**研究WDM网络的生存性问题,提出了一种联合优化的自适应专用通路保护算法。该算法根据网络拓扑信息和资源使用情况动态调整链路权值,并在此基础上为到达业务连接请求,同时找到一对链路分离的工作通路和保护通路,而且保证二者占用资源总量最少。与文献中已有算法相比,JOA可以降低算法的时间开销,同时还有利于全网负载均衡和少用资源,从而可以有效提高全网资源利用率,进一步降低业务连接请求的阻塞率。通过仿真将所提算法与传统算法进行了对比,给出了仿真结果。

**关键词** 波分复用; 动态保护; 自适应算法; 联合优化  
**中图分类号** TN913.24 **文献标识码** A

## An Adaptive Protection Algorithm with Joint Optimization in WDM Networks

HE Rong-xi

(College of Information Engineering, Dalian Maritime University Dalian Liaoning 116026)

**Abstract** A Joint Optimal Adaptive Protection Algorithm(JOA) is proposed to establish dependable connections for dynamic arriving connection requests in WDM networks. JOA first adjusts the cost of links according to the current state of network adaptively, and it then computes a pair of primary path and backup path for each connection request simultaneously. JOA attempts to perform optimization on the path-pair selection, and to achieve efficient resource utilization. Based on dynamic traffic with different load, the performance of JOA has been investigated against some traditional approaches via simulations. The results show that JOA has a better performance than other schemes.

**Key words** wavelength division multiplexing; dynamic protection; adaptive algorithm; joint optimization

生存性问题是波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)光网络中的一个关键问题,文献[1-4]研究了单链路失效情况下光层的生存性机制。专用通路保护(Dedicated Path Protection, DPP)是一种有效的保护方案。文献[1]介绍了传统的DPP方案,即独立选路法(Separate Path Selection, SPS)。SPS先计算一条最短路作为工作通路,然后删除该通路所经链路,在经过裁剪的拓扑上再次计算一条最短路作为保护通路。SPS直观、简单,但由于没有考虑工作通路和保护通路的联合优化问题,计算出的两条通路只能保证工作通路代价最小,而工作通路和保护通路的总代价却未必最小<sup>[1-2,5]</sup>。由于DPP工作通路和保护通路上的资源都被占用,因此更合理的指标应该是二者的总代价最小。另外,SPS还存在不完备问题,如遇到“陷阱拓扑(Trap Topology)”<sup>[5]</sup>,即可能找不到源、宿节点间链路分离的路径对,而实际的拓扑中却存在这样的路径对。为了弥补SPS的不足,文献[1]提出了一种联合选路法(Joint Path Selection, JPS)。JPS通过计算出源、宿节点对间的 $k$ 对链路分离的路径,然后从中选出总代价最小的路径建立工作通路和保护通路,从而达到联合优化的目的。在JPS中往往需要取较大的 $k$ 值,以保证尽可能多地找出源、宿节点间链路分离的路径对,并从中选出总代价最小的路径对建立工作通路和保护通路。但是, $k$ 值增加势必增加算法的时间开销,对于需要动态建立光路的在线(Online)算法而言无疑是不可取的。JPS在计算链路分离路径对时仍采用分步删除,因此仍然存在不完备的问题。

收稿日期:2004-06-09

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2003033031);辽宁省教育厅科学研究计划资助项目(20040070);辽宁省科技厅重点实验室资助项目(辽科[2005]36)

作者简介:何荣希(1971-),男,博士后,主要从事光网络设计及宽带网络方面的研究。

本文提出一种联合优化的自适应保护算法(Joint Optimal Adaptive Protection Algorithm, JOA)。JOA根据网络拓扑信息和全网资源使用情况动态调整链路权值,利用链路分离最短路径,对算法(Edge-Disjoint Shortest Path Pair Algorithm, EDSP)<sup>[5]</sup>一次性找到总代价最小的两条通路作为工作通路和保护通路。与传统算法相比,JOA有利于全网负载均衡,并能有效提高全网资源利用率,接纳更多后续业务连接请求,降低全网业务连接的阻塞率。JOA还可避免“陷阱拓扑”现象,与JPS相比,有利于降低时间开销,更适宜于在线算法。

### 1 联合优化的自适应保护算法

给定网络物理拓扑 $G(N,L,W)$ ,其中, $N$ 为节点集; $L$ 为双向链路集,每条链路由一对方向相反的单向光纤组成,每根光纤上的可用波长集 $W=\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|W|}\}$ 。节点数、链路数和波长数分别用 $|N|$ 、 $|L|$ 和 $|W|$ 表示;考虑的光路为双向光路;每次只到达一个业务请求。到达业务请求的源、宿节点在节点集 $N$ 中随机选择。

JOA算法主要包括3部分,即:(1) 动态调整链路权值;(2) 利用EDSP<sup>[5]</sup>找出总代价最小的一对链路分离路径;(3) 检查所得两条通路是否有可用波长(遵循波长连续性限制)。JOA算法的流程图如图1所示。

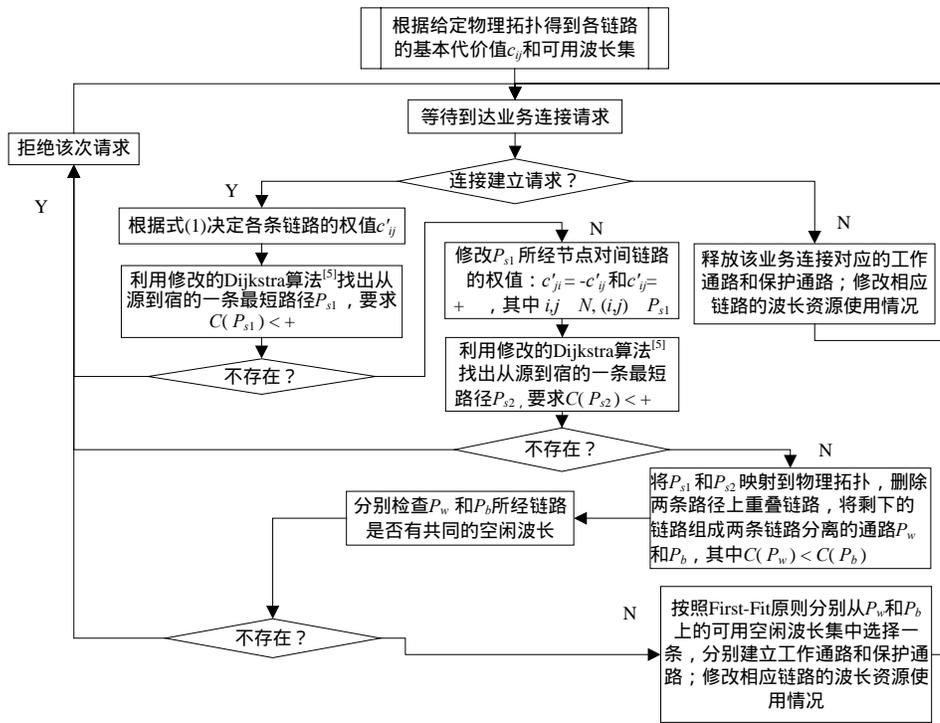


图1 联合优化的自适应保护算法流程图

文献[1]将链路权值定义归纳为基于拓扑的、基于资源占用情况的和将二者综合考虑的3类。为了进一步降低业务连接请求的阻塞率,提高算法的有效性,同时又有利于全网负载均衡,JOA在定义链路权值时综合考虑网络拓扑信息和资源利用情况。在具体阐述之前引入如下定义:(1)  $(i, j)$ 表示连接节点 $i$ 和节点 $j$ 的两条单向光纤链路;(2)  $c_{ij}$ 表示链路 $(i, j)$ 的基本代价值,它由相应链路的物理长度、建设费用等多种因素共同决定,为便于讨论,假设基本代价值都为1;(3)  $c'_{ij}$ 表示链路 $(i, j)$ 的代价函数,它取决于拓扑信息和全网资源的利用情况;(4)  $o_{ij}^m$ 表示链路 $(i, j)$ 上波长 $m$ 的占用函数,如果波长 $m$ 空闲,则 $o_{ij}^m = 1$ ,否则 $o_{ij}^m = 0$ ;(5)  $a_{ij}$ 表示链路 $(i, j)$ 上的可用波长数,且 $a_{ij} = \sum_{m=1}^{|W|} o_{ij}^m$ ;(6)  $p_{ij}$ 表示链路 $(i, j)$ 上一条波长被占用的概率,且 $p_{ij} = 1 - a_{ij} / |W|$ 。

根据以上定义,可求出链路 $(i, j)$ 上所有波长被占用的概率为 $(p_{ij})^{a_{ij}}$ ,那么该链路上至少有一条波长可用的概率为 $1 - (p_{ij})^{a_{ij}}$ <sup>[6]</sup>。链路 $(i, j)$ 的代价函数 $c'_{ij}$ 定义为 $c'_{ij} = \alpha \times f(a_{ij}, |W|) + \delta \times c_{ij}$ ,其中, $\alpha$ 和 $\delta$ 为不大于1的常数因子,而且要求 $\alpha + \delta = 1$ 。函数 $f(a_{ij}, |W|)$ 定义为 $f(a_{ij}, |W|) = -\lg[1 - (p_{ij})^{a_{ij}}]$ 。

动态调整完链路的权值,JOA实际上就是一种带有优化目标的约束路由算法。该算法需要同时寻找一对链路分离的路径,分别作为工作通路 $P_w$ 和保护通路 $P_b$ ,并且满足:

$$\min\left\{\sum_{(i,j)\in P_w} c'_{ij} + \sum_{(i,j)\in P_b} c'_{ij}\right\}$$

## 2 计算机仿真及数据分析

为了更好地说明JOA的有效性,本文对JOA进行了仿真研究,并同JPS算法<sup>[1]</sup>进行对比。仿真采用的网络拓扑如图2所示。图2a是NSFNet T1骨干网,共有14个节点和21条链路;图2b是类似于CERNET的不规则网络,共有10个节点和16条链路。仿真时假设每条链路由一对方向相反的单向光纤组成,每根光纤可支持16个波长,且所有节点不具备波长变换能力;所有连接请求按平均速率服从参数 $\beta$ 的泊松分布到达;所有连接的持续时间服从均值 $1/\mu$ 指数分布,即全网总负载为 $\beta/\mu$  Erl;到达请求的源、宿节点在所有节点对之间随机选定,允许一对节点之间同时存在多条连接;对于到达的每个连接请求,要求为其同时建立两条链路分离的光路,如果建立不成功,则拒绝该次请求,且一旦拒绝(阻塞),就立即丢弃,即无等待队列。在不同负载的动态业务下,本文对不同算法的阻塞率进行了仿真研究;同时,还比较了不同的 $\alpha$ 值和不同的波长数对JOA阻塞率性能的影响。所得结果是在模拟 $10^6$ 次业务连接请求后经统计得出的,如图3~7所示。图中JPS-2, JPS-3分别表示JPS中 $k$ 取2和3;JPM表示算法A相对于SPS算法<sup>[1]</sup>(实际上就是在JPS中 $k=1$ )的阻塞率性能的改善程度。类似文献[1],定义 $IPM=(P_S-P_A)/P_S$ ,  $P_A$ 和 $P_S$ 分别表示算法A和SPS的阻塞率。

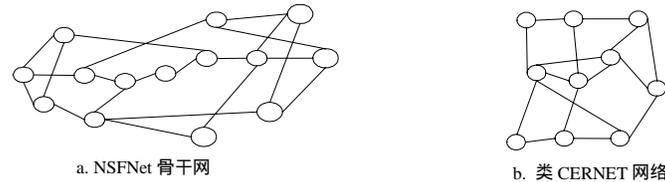


图2 仿真用的网络拓扑

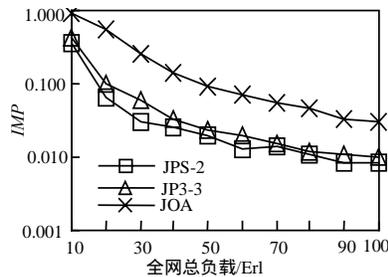


图3 NSFNet中IPM比较

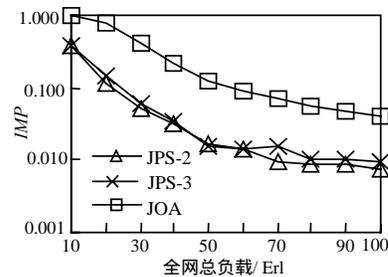


图4 CERNET中IPM比较

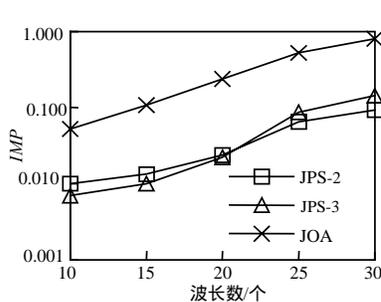


图5 波长数对IPM的影响

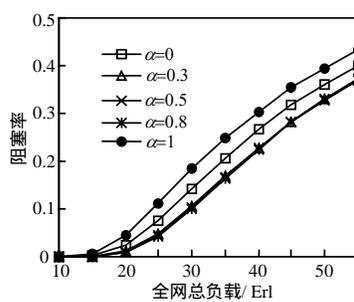


图6 NSFNet中 $\alpha$ 对算法阻塞率的影响

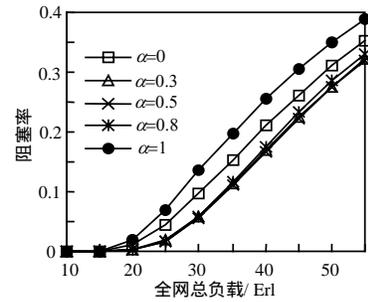


图7 CERNET中 $\alpha$ 对阻塞率的影响

图3和图4为两种网络拓扑中JOA( $\alpha=0.3$ )与JPS的阻塞率性能比较。从图中可看出,与SPS相比,JOA和JPS都可以有效改善全网的阻塞率,且JOA的改善程度高于JPS。另外,随着 $k$ 值增大,JPS的阻塞率性能改善程度也逐渐增加,逐渐接近JOA。如果 $k$ 值足够大,以致于能够找出任意节点对之间的所有链路分离的路径对,那么JPS将达到与JOA一样的阻塞率性能。但是,由于 $k$ 值增加,JPS需要计算的路径对增加,将加重算法的

时间开销。在仿真中还发现当 $k$ 值增加到一定程度(如 $k=3$ )时,如果 $k$ 值继续增加,JPS算法的阻塞率性能再无较大改善。另外,当 $\alpha$ 分别为0、0.5、0.8和1时,也可得出类似的结论。图5比较了CERNET中,当全网总负载为50 Erl、 $\alpha=0.3$ 时,不同波长数对算法阻塞率性能的影响。从图中可看出,无论波长怎样变化,JOA对SPS算法的阻塞率改善程度都优于JPS。

图6~7在两种网络拓扑中研究了 $\alpha$ 对JOA算法阻塞率的影响。从图中可看出: $\alpha$ 取0或1时阻塞率性能较差, $\alpha$ 取0.3、0.5和0.8时,阻塞率性能较好,而且彼此非常接近。原因在于当 $\alpha=0$ 时,根据式(1)决定的链路权值仅取决于其基本代价,即取决于拓扑信息。JOA找出的总代价最小的两条路实际上就是源、宿节点间跳数最少的两条路径,这会造成全网负载分布不均,任意两点间的业务连接都集中建立在其最短跳数的路径上,从而会用光这些链路上的资源,造成后续业务请求无法找到链路分离路径对的概率增加,增加了全网阻塞率;当 $\alpha=1$ 时,链路权值仅取决于该链路的可用波长资源,一方面,虽然可以很好保证全网负载均匀;但另一方面,为了追求负载均匀,可能会选择源、宿节点间的一条很长通路来建立业务连接,导致多占用资源,增加全网阻塞率。因此,在JOA中应该合理选择 $\alpha(0<\alpha<1)$ ,这样才能既考虑负载均衡又充分反映拓扑信息,从而避免上面的两个极端,有利于提高全网资源利用率,降低阻塞率。

### 3 结论

本文提出一种WDM网中联合优化的自适应保护算法,首先根据网络拓扑信息和资源使用情况动态调整链路权值,然后为到达业务连接请求同时建立链路分离的两条光路作为工作通路和保护通路,并且保证二者总代价最小。该算法克服了SPS和JPS算法<sup>[1]</sup>的局限性,降低了算法的时间开销,更符合实际工程需要。同时该算法还尽量保证全网负载均匀分布和少用资源,进一步降低了业务连接请求的阻塞率。最后,在不同负载的动态业务下对JOA算法与JPS算法进行了仿真研究,结果表明JOA可以有效提高全网的资源利用率,降低全网业务连接建立请求的阻塞率。

### 参 考 文 献

- [1] Xin C, Ye Y, Dixit S, et al. A joint lightpath routing approach in survivable optical networks[J]. Optical Netw. Mag., 2002, 3(3): 13-20.
- [2] He R, Wen H, Li L, et al. Joint optimal path selection algorithm in survivable WDM networks[C]// IEEE PDCAT 2003, Chengdu, 2003.
- [3] 何荣希, 王 晟, 李乐民. 光网络中支持多粒度的子通路保护算法[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(3): 245-250.
- [4] 何荣希, 张治中, 李乐民, 等. IP/MPLS over WDM网中基于共享风险链路组限制的共享通路保护算法[J]. 电子学报, 2002, 31(11): 1638-1642.
- [5] Bhandari R. Survivable networks: Algorithms for diverse routing[M]. Kluwer: Academic Publishers, 1999.
- [6] Fabry-Asztalos Y, Bhide N, Sivalingam K. Adaptive weight functions for shortest path routing algorithms for multi-wavelength optical WDM networks[C]// IEEE ICC'2000, New Orleans, 2000.

编辑 熊思亮