

# WDM网状网在鲁棒资源配置下的抗毁设计

章小宁, 李乐民, 王 晟, 杨 飞

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**针对WDM网状网中业务量矩阵不确定情况下(hose业务模型)的鲁棒资源配置问题,进行了抗毁设计,采用专用通道保护策略,网络设计的优化目标为全网代价最小。提出了DPP-MRU和DPP-MST两种启发式算法,并通过计算机仿真分析,从两种算法在USANET-hose和ITANET-hose模型下的全网代价比较,证实了最大资源利用率算法具有较小的全网代价。

**关键词** 启发式算法; hose不确定模型; Valiant负载平衡; WDM网状网  
**中图分类号** TN911 **文献标识码** A

## Design of Resilient WDM Mesh Networks under Robust Resource Provisioning

ZHANG Xiao-ning, LI Le-min, WANG Sheng, and YANG Fei

(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** In the paper, considering the problem of robust resource provisioning in WDM mesh networks under the uncertain traffic matrix (hose model), we design the resilient WDM mesh networks. The strategy of dedicated-path protection is used. We propose two heuristic algorithms whose optimization objective is to minimize total network cost. Some comparisons for these algorithms by simulations, show that the maximal resource utilization (MRU) algorithm has fewer total network cost.

**Key words** heuristic algorithms; hose uncertainty model; Valiant load-balancing; wavelength division multiplexing mesh networks

WDM网状网中传统的资源配置需要一个确定的业务量矩阵,但是在实际情况下很难预测出节点对之间具体的业务量模型。近年来,针对WDM网状网中不确定业务模型下的鲁棒资源配置问题的研究开始兴起,其中hose不确定模型<sup>[1]</sup>(即给出了流入/流出节点业务量的上限)下Valiant负载平衡的鲁棒资源配置成为热点。文献[2-3]分别以全网代价最小和hose模型吞吐量最大为优化目标提出了WDM网状网中的Valiant负载平衡的鲁棒资源配置算法。文献[4]则为IP-over-WDM网络提出了新的选择性的Valiant负载平衡选路算法。

对于WDM网状网,单链路失效是最常见的问题,由于WDM网状网中每一条链路上都传送大量业务流,任一链路的失效必将导致巨大的损失。因此在网络设计时需要考虑网络的抗毁能力<sup>[5-9]</sup>。本文研究了WDM网状网在hose不确定模型下,采取Valiant

负载平衡鲁棒资源配置时的抗毁设计问题。考虑到Valiant负载平衡鲁棒资源配置的特点,采用了专用通道保护(dedicated-path protection, DPP)的保护策略,并为此提出了两种启发式算法——最大资源利用率(maximal resource utilization, MRU)的启发式算法和最大单跳业务量(maximal single-hop traffic, MST)的启发式算法。通过计算机仿真,本文对DPP-MRU、DPP-MST两种启发式算法的全网代价进行了比较,并分析了它们各自的特点。

### 1 Valiant负载平衡鲁棒选路

文献[10]针对hose不确定模型提出在非全连接的网络中使用Valiant负载平衡的鲁棒选路算法。Valiant负载平衡的选路算法分两阶段完成:(1)进入任何节点的点到点业务量都按比例 $\alpha_i$ 分散到中间节点 $i$ ,而不考虑其目的节点;(2)作为第一阶段选路

收稿日期:2006-09-20;修回日期:2007-08-11

基金项目:国家自然科学基金(90604002);教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-05-0807)

作者简介:章小宁(1980-),男,博士,讲师,主要从事光网络方面的研究。

的结果, 每个节点收到前往不同目的节点的负载, 并将其转发到相应的目的节点, 其中  $\sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i = 1$ ,  $\alpha = \{\alpha_0, \alpha_2, \dots, \alpha_{N-1}\}$  表示负载分配向量。实现 Valiant 负载平衡选路的关键在于确定网络中链路带宽值, 从而使得网络满足任何类型的有效负载业务矩阵的要求。

本文令  $R_i$  表示由节点  $i$  进入网络的业务量的上限,  $C_j$  表示由节点  $j$  离开网络的业务量的上限。首先考虑第一阶段的选路, 节点  $i$  发送  $\alpha_i R_i$  的业务量通过最短路径到所有中间节点  $j$ , 因此节点  $i$  与节点  $j$  之间的最短路径链路在第一阶段选路的容量上限为  $\alpha_i R_i$ ; 然后再考虑第二阶段的选路, 当第一阶段选路完成时, 节点  $i$  作为中间节点收到来自于节点  $k$  的业务负载上限为  $\alpha_i R_k$ , 其中前往节点  $j$  的业务负载为  $\alpha_i t_{kj}$  ( $t_{kj}$  表示节点  $k$  到节点  $j$  的业务负载), 因此节点  $i$  与节点  $j$  之间的最短路径链路在第二阶段选路的容量为  $\sum_{k=1}^N \alpha_i t_{kj} = \alpha_i C_j$ 。由上述分析可知, 节点  $i$  与节点  $j$  之间的最短路径链路的带宽要求为  $\alpha_i R_i + \alpha_i C_j$ , 即在 Valiant 负载平衡的鲁棒选路中, 节点  $i$  与节点  $j$  之间的最短路径的链路容量要求只与负载分配向量和 hose 模型有关, 而与当前具体的业务量矩阵无关。

## 2 问题分析

首先给出网络模型和基本假设。给定 WDM 网状网的物理拓扑  $G(N, E)$ ,  $N$  为节点集,  $E$  为单向链路集;  $N, E$  分别为网络节点数、单向链路数。网络的单向链路被赋予了链路代价, 它代表了这条链路的物理距离。网络中的每个节点代表一个波长路由器。在 Valiant 负载平衡的鲁棒资源配置中, 中间节点的波长路由器接收到来的波长并通过光-电转换将数据变为电信号。如果中间节点是目的节点, 则数据不用重新转发; 如果中间节点不是目的节点, 则中间节点的波长路由器通过光-电转换将数据重新变为光信号, 发送到目的节点。同时假设波长路由器中的光交叉连接器(optical cross-connect, OXC)为没有波长转换能力的波长选择交叉连接器(wavelength selective cross-connect, WSXC)。WDM 光网络中每个连接请求的带宽等于一个波长的带宽。hose 不确定业务模型  $T(R_{hose}, C_{hose})$ ,  $R_{hose} = [R_0, R_1, \dots, R_{N-1}]$ , 其中  $R_i$  表示以节点  $i$  作为源节点的连接请求数目的上限;  $C_{hose} = [C_0, C_1, \dots, C_{N-1}]$ , 其中

$C_i$  表示以节点  $i$  作为目的节点的连接请求数目的上限。

本文采用预设保护光路的方式为 hose 不确定模型下 Valiant 负载平衡的鲁棒资源配置时的 WDM 光网络提供抗毁能力, 即工作光路一旦失效, 它所承载的业务全部切换到保护光路上。WDM 光网络中保护的方式分为 2 种: 通道保护和链路保护。由于通道保护提供保护的速度快, 而且较为简单, 本文选用通道保护的方式。同时根据空闲波长(或备用波长)的预留方式, 可以将通道保护机制分为专用通道保护和共享通道保护。考虑到 WDM 光网络中 Valiant 负载平衡鲁棒资源配置的具体条件, 本文采取专用通道保护。在专用通道保护情况下, 工作光路和保护光路一一对应, 并且为保护光路预留相应的波长资源, 这些波长资源不能被其他保护光路使用。

本文目标为给定一个网络拓扑和相应的 hose 不确定业务模型, 在保证 Valiant 负载平衡的鲁棒资源配置时 100% 恢复单链路失效的情况下, 采用专用通道保护策略, 使得全网代价最小。其中全网代价的定义为所有单向链路分配的波长(包括工作波长和保护波长)个数与其链路代价的积的总和。即:

$$\text{total\_network\_cost} = \sum_E (\text{wavelength\_num}(e) \times \text{weight}(e)) \quad (1)$$

式中  $\text{wavelength\_num}(e)$  表示单向链路  $e$  上分配的波长数;  $\text{weight}(e)$  表示单向链路  $e$  的链路代价。

## 3 启发式算法

文献[5]说明了 WDM 网状网中基于保护的优化问题为 NP-C 问题, 而本文所考虑的 Valiant 鲁棒资源配置下的专用通道保护问题更为复杂, 也是 NP-C 问题。因此需要设计启发式算法加以解决。本文提出的启发式算法划分为互相联系的 3 个问题: (1) 确定所有节点对之间的工作路径和保护路径; (2) 根据节点对之间的工作路径和各个节点的 hose 模型业务量计算确定负载分配向量  $\alpha$ , 并产生虚业务量矩阵  $T_v$ ; (3) 对虚业务量矩阵  $T_v$  的工作路径和保护路径进行选路(节点对工作路径和保护路径由子问题(1)决定)和波长分配, 并计算全网代价。

### 3.1 DPP-MRU 算法

考虑到本文的优化目标为全网代价最小, 因此对于问题(1), DPP-MRU 算法首先为 WDM 网状网中所有节点对  $(i, j)$  ( $i, j = 0, 1, \dots, N-1$ , 并且  $i \neq j$ ) 计算 2 条具有最小链路代价的链路分离的路径  $p_{ij}$  和  $p'_{ij}$  (其中  $p_{ij}$  为代价最小的路径,  $p'_{ij}$  次之), 并记录  $p_{ij}$  的链路代价值  $c_{ij}$  以及  $p'_{ij}$  的链路代价值  $c'_{ij}$ ;  $p_{ij}$  作为节点



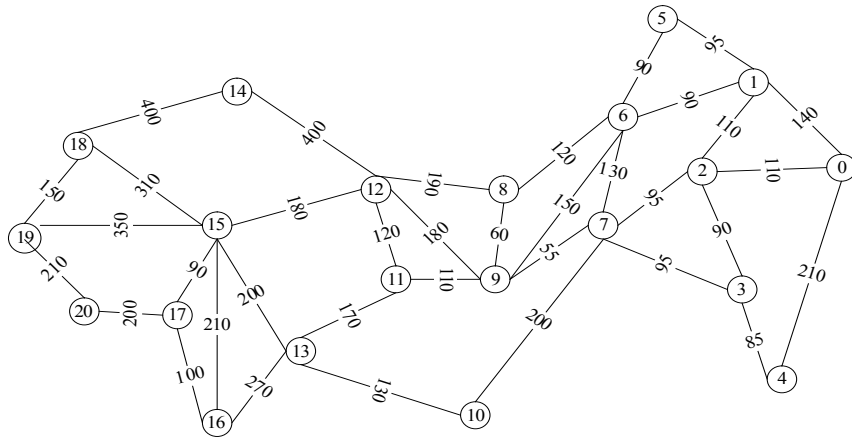


图2 ITANET拓扑

表1和表2分别给出了DPP-MRU算法和DPP-MST算法在USANET-hose和ITANET-hose模型下的全网代价。从表1和表2可以看出,在USANET/ITANET拓扑下,DPP-MRU算法的全网代价均低于DPP-MST算法的全网代价。这是因为DPP-MRU算法以虚拟矩阵节点对的资源利用率为序从大到小建立光路虚拓扑,考虑了节点业务量以及工作路径代价的影响;而DPP-MST算法则以虚拟矩阵节点对业务量为序从大到小建立光路虚拓扑,只考虑了节点对业务量对网络代价的影响,因此DPP-MRU算法相比于DPP-MST算法可以节约更多的网络资源,所以DPP-MRU算法相比于DPP-MST算法具有较小的网络代价。

表1 USANET拓扑下两种算法的全网代价比较

USA model	DPP-MRU	DPP-MST
1	5 125 830	5 499 520
2	4 242 050	4 432 600
3	5 663 020	5 891 900

表2 ITANET拓扑下两种算法的全网代价比较

ITA model	DPP-MRU	DPP-MST
1	576 980	592 800
2	588 240	600 710
3	475 380	482 690

## 5 结论

本文研究了hose不确定模型下WDM网状网采用Valiant负载平衡鲁棒资源配置时的抗毁设计问题,并基于专用通道保护策略,提出了两种快速启发式算法——DPP-MRU算法和DPP-MST算法,计算机仿真表明DPP-MRU具有较小的全网代价。

## 参 考 文 献

- [1] DUFFIELD N G, GOYAL P, GREENBERG A, et al. A flexible model for resource management in virtual private networks[C]//Proc ACM SIGCOMM. Vancouver: [s.n.], 1998.
- [2] ZHANG XIAO-NING, LI Le-min. Robust routing algorithms based on valiant load balancing for wavelength-division multiplexing mesh networks[J]. Optical Engineering, 2006, 45(8): 365-374.
- [3] KODIALAM M, LAKSHMAN T V, SUDIPTA S. Maximum throughput routing traffic in the hose model [C]//IEEE INFOCOM 06. Barcelona: IEEE, 2006.
- [4] SHEPHERD F B, WINZER P J. Selective randomized load balancing and mesh networks with changing demands [J]. Journal of Optical Networking, 2006, 5(5): 320-339.
- [5] RAMAMURTHY S, SAHASRABUDDHE L, MUKHERJEE B. Survivable WDM mesh networks[J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(4): 870-883.
- [6] KIM S, LUMETTA S. Evaluation of protection reconfiguration for multiple failures in WDM mesh networks [C]//Proc of the OFC' 03. Atlanta: [s.n.], 2003.
- [7] OU C, ZHANG J, ZANG H, et al. New and improved approaches for shared-path protection in WDM mesh networks[J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(10): 1223-1232.
- [8] WEN H, LI L, HE R, et al. Dynamic grooming algorithms for survivable WDM mesh networks[J]. Photonic Network Communication, 2003, 6(3): 253-263.
- [9] TRUON D, THIONGANE B. Dynamic routing for shared path protection in multidomain optical mesh networks[J]. Journal of Optical Networking, 2006, 5(1): 58-74.
- [10] KODIALAM M, LALSHMAN T V, SENGUPTA S. Efficient and robust routing of highly variable traffic [C]//HotNets Conference III. San Diego: [s.n.], 2004.