

## WDM网络中静态流量的最少费用疏导策略

姚华雄 杨宗凯

(华中师范大学计算机科学系 武汉 430074)

**摘要:** 为了解决 WDM 网状网络中的静态流量疏导问题, 基于收发器节约辅助图模型, 该文提出了一种最少费用疏导策略。它同时考虑收发器和波长链路两种网络资源的费用, 为每条流量计算出一条费用最少的路径, 以获得网络总费用最少的解决方案。根据两种资源费用的比值关系, 给辅助图中的每条边分配不同的权值, 使得路径的总权值最小代表了该路径的费用最少, 从而就能够轻易地实现该策略。仿真结果证明, 不管两种资源的费用比值如何变化, 该策略的网络总费用始终是最少的。

**关键词:** 光纤通信; 疏导策略; 最少费用; 辅助图; 流量疏导

中图分类号: TN915.63

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)09-2242-04

## Minimizing Cost Grooming Policy for Static Traffic in WDM Networks

Yao Hua-xiong Yang Zong-kai

(Dept. of Computer Science, HuaZhong Normal University, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** To solve the static traffic grooming problem in WDM mesh networks, a minimizing cost grooming policy is proposed based on the transceiver saving auxiliary graph model. The policy considers the costs of both two network resources of transceivers and wavelength links. It searches a least-cost path for each traffic request in order to get the optimized solution with the least network cost. It assigns different values to edges of the auxiliary graph according to the cost ratio of the two resources. Minimizing the weight of a path means minimizing the resource cost of this path, and then the policy is easily achieved. Simulation results show that the network cost of the policy is always the least despite different cost ratios of the two resources.

**Key words:** Optical communication; Grooming policy; Minimizing cost; Auxiliary graph; Traffic grooming

### 1 引言

波分复用(WDM)是光网络中增加带宽容量的关键技术。当前每个波长信道的传输容量已经达到 10Gb/s(OC-192), 甚至 40Gb/s(OC-768)<sup>[1]</sup>。但是多数客户只需要使用较低的带宽就足够了, 比如, 155Mb/s(OC-3), 622Mb/s(OC-12)或者 2.5Gb/s(OC-48)。如果将一个波长信道的整个带宽都分配给一个低速的连接, 那么将会浪费大部分的传输容量。为了有效地使用网络资源, 需要利用流量疏导(traffic grooming)技术将低速的流量有效聚合到高速的光路。

流量疏导问题已经被很多文献深入研究。在小型网络和静态模式下, 流量疏导问题可以公式化为一个整线性设计(ILP)问题<sup>[2]</sup>。但是在大型网状网络和动态流量下, 它就是一个 NP 复杂问题<sup>[3]</sup>。因此建立图形模型对问题的分析很有帮助。文献[4]提出一种新颖的通用图形模型来描述网络状态, 图形使用了不同的边来表示不同的资源限制, 比如收发器, 波长和波长转换能力。通过改变这些边的权值可以获得不同的疏导策略。文献[5]提出了一种链路捆绑的辅助图形模型,

用于波长转换能力受限的动态流量疏导。文献[6]提出了一种收发器节约的辅助图模型, 能够节约使用的收发器资源。

基于辅助图模型, 这些文献又提出了很多疏导策略来提高网络的性能。文献[4]提出了最小光路数(MinLP), 最小波长链路数(MinWL), 最小流量跳数(MinTH)等疏导策略。文献[5]提出了最短物理(SP)路径优先, 最少虚拟跳数(LVH)路径优先, 最少资源(LR)路径优先等疏导策略。这些疏导策略都是以优化网络性能的某一个参数为目标, 但是都没有涉及到网络费用的问题。在静态流量情况下, 所有的连接请求都是预先知道的, 设计一个规模合适并且费用最少的网络是可行的, 而且它还能够容纳所有的请求。文献[7]对多跳疏导和单跳疏导的网络费用进行了比较, 得出结论多跳疏导更适合费用较省的网络设计。本文基于静态流量提出了一种最少费用疏导策略(MCGP), 它根据可疏导网络中两种资源的费用关系, 在辅助图模型中给各条边设置不同的权值, 以获得网络总体费用的最少。本文还通过实验对该策略的网络费用与其他策略进行了比较。

### 2 收发器节约辅助图(TSAG)模型

为了解决流量疏导问题, 本文根据给定的网络配置构建了一个收发器节约辅助图模型。这个模型已经在文献[6]中详

细介绍过,本文简述如下。

对于物理网络的一个节点,TSAG将它分成一个两层的图形,每层包括一个节点,这两层分别叫波长层和光路层。物理网络中的每个节点对应于辅助图中两个节点,位于波长层的叫做物理节点,位于光路层的叫虚拟节点。

波长层内部的几条边代表的是物理拓扑中的波长链路,光路层内部的几条边代表的是虚拟拓扑中建立的光路。波长层和光路层之间的单向边代表节点中的收发器资源,双向边代表的是节点的复用资源,它表示流量可以不消耗收发器资源直接进行转发。图1表示了一个3点简单网络的TSAG模型。从图中可以看出,TSAG模型有5种不同类型边:波长边( $E_w$ ),光路边( $E_l$ ),发送边( $E_t$ ),接收边( $E_r$ ),复用边( $E_m$ ),它们分别对应了不同的网络资源,通过这些边的添加和删减反映了实际网络中的资源变化情况。

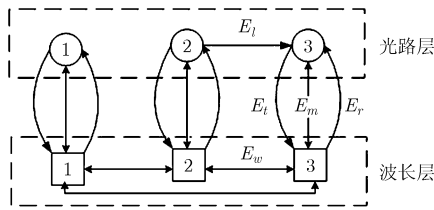


图1 三点网络的TSAG模型

### 3 最少费用疏导策略(MCGP)

疏导策略决定的是在一个特定的环境下如何承载流量,它反应了网络管理者的意图。给TSAG模型中的每条边赋予不同的权值分配函数,可以轻易地实现不同的疏导策略。

一条新建的光路必须占用一个发送器和一个接收器,通常情况下发送器和接收器的权值相等  $E_t = E_r$ , 于是辅助图中一条通过  $l$  个波长链路的新光路的权值是  $W_n = 2E_t + l \times E_w$ 。

辅助图中一条已存在光路的权值是  $W_e = E_l$ 。

如果一条多跳的路径  $p(s,d)$  包括  $k$  条新建的光路和  $t$  条已存在的光路,每条新建的光路经  $l_i$  ( $1 \leq i \leq k$ ) 条波长链路,那么辅助图中路径  $p(s,d)$  的权值是

$$\text{Weight} = kW_n + tW_e = 2k \times E_t + t \times E_l + \sum_{i=1}^k l_i \times E_w \quad (1)$$

根据以上分析,给式(1)的各条边分配不同的权值就可以实现不同的疏导策略。文献[4]提出了两种有效的疏导策略:最小光路数(MinLP)和最小波长链路数(MinWL)。基于对多跳路径权值的分析,可以通过设置边的权值轻易满足这两种疏导策略。

MinLP 建立最少的新光路满足当前的连接请求。每一个新建的光路在路径中都有一个发送器边和一个接收器边,因此最小光路数等效于使发送器边和接收器边的数目最小。从式(1)可以看出,只需要将  $E_t$  和  $E_r$  分配一个很大的权值就

可以实现这个策略。

MinWL 使用最少的波长链路来承载当前的连接请求。可以看出,只需给辅助图中的波长边  $E_w$  分配一个很大的权值就可实现该策略。

在 WDM 可疏导网络中存在着收发器和波长链路两种关键资源,这两种策略都只考虑了一种资源的效率,它们只能确保使用最少的某一种资源。但是 WDM 可疏导网络的总费用包括收发器和波长链路两种资源的费用,一种资源的最少并不代表总费用的最少。因此,本文提出一种最少费用疏导策略(MCGP),它能够设计一个网络总费用最少的资源分配方案,以适用于静态流量的网络资源设计。

用  $C_t$  来表示一个收发器的费用(接收器和发送器费用相等),  $C_w$  表示一条波长链路的费用,将  $\alpha$  定为收发器和波长链路的费用比,即

$$\alpha = C_t / C_w \quad (2)$$

因此,对于式(1)所提到的路径  $p(s,d)$ ,其总费用为路径所占用的收发器和波长链路的费用之和,即

$$\text{Cost} = 2kC_t + \sum_{i=1}^k l_i C_w = \left( 2k\alpha + \sum_{i=1}^k l_i \right) C_w \quad (3)$$

要使网络总费用最少,也就是

$$\text{Min}(\text{Cost}) = \text{Min} \left( 2k\alpha + \sum_{i=1}^k l_i \right) \quad (4)$$

在 TSAG 辅助图中,将波长边的权值  $E_l$  设为很小,使其对路径总权值的影响可以忽略不计。令  $\beta$  表示收发器边和波长链路边的权值比,即

$$\beta = E_t / E_w \quad (5)$$

式(1)就可简化为

$$\text{Weight} = \left( 2k\beta + \sum_{i=1}^k l_i \right) E_w \quad (6)$$

因此,在 TSAG 辅助图中使用最短路径算法就是使路径  $p(s,d)$  的权值最小,即

$$\text{Min}(\text{Weight}) = \text{Min} \left( 2k\beta + \sum_{i=1}^k l_i \right) \quad (7)$$

从式(4)和式(7)可以看出,只要令  $\alpha = \beta$ ,即  $C_t / C_w = E_t / E_w$ ,就可使两式相等  $\text{Min}(\text{Cost}) = \text{Min}(\text{Weight})$ 。也就是说,只要在 TSAG 辅助图中根据收发器和波长链路的费用关系来分配权值

$$E_t = (C_t / C_w) E_w \quad (8)$$

就可实现最少费用疏导策略,从而使整个网络的总费用最少。最少费用疏导策略的算法流程图如图2所示。

### 4 实验结果

为了评价本文提出的最少费用疏导策略(MCGP)的性能,我们用 NS2 网络仿真器仿真了一个静态流量的网络环境,对静态流量下网络的总费用与 MinWL, MinLP 进行了比较。仿真实验使用的是 NSF 网络拓扑如图3所示,它包

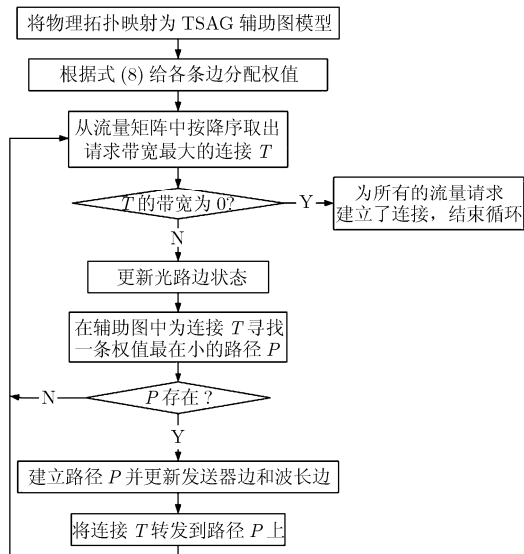


图2 最少费用疏导策略的算法流程图

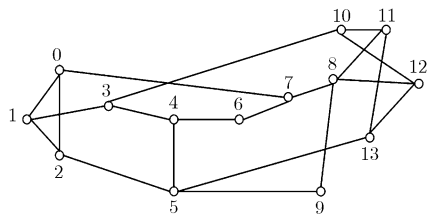


图3 NSF网络拓扑

括14个节点21条链接。网络中的节点有完全的波长转换能力和疏导能力。每个链路都是双向链路，每个波长的容量是OC-192 (10Gbps)。节点对之间的流量由4种连接请求组成：OC-3, OC-12, OC-48, OC-192，请求均匀分布在所有的节点对之间。每个结点对的流量矩阵随机产生，节点对的4种请求的个数分别服从(0, 16), (0, 8), (0, 2), (0, 1)的均匀分布。在仿真中，连接请求的总数是2462个，流量的总和相当于41292个OC-1流量，试验使用了动态路由算法和最先匹配波长分配策略。

为了表示收发器和波长链路之间不同的费用比，定义了如下变量：

$$\eta = C_w / (C_w + C_t) \quad (9)$$

根据 $C_w$ 和 $C_t$ 的值，变量 $\eta$ 取值在区间(0, 1)之间。如果 $\eta = 0.5$ ，两种资源的费用相等；如果 $\eta > 0.5$ ，波长链路的费用较高；如果 $\eta < 0.5$ ，收发器的费用较高；如果 $\eta \rightarrow 0$ ，收发器的费用远大于波长链路的费用，收发器在网络中是决定性的因素；如果 $\eta \rightarrow 1$ ，波长链路的费用远大于收发器的费用，波长链路在网络设计中起主导性作用。

根据式(2)和式(9)可以得到 $\alpha$ 和 $\eta$ 之间的关系：

$$\alpha = 1/\eta - 1 \quad (10)$$

将式(10)代入式(8)中，得到

$$E_t = E_w(1/\eta - 1) \quad (11)$$

只要给定 $E_w$ 和 $\eta$ 的值，就可以计算出 $E_t$ 的值，然后通过最短路径路由算法就能实现MCGP策略的意图，从而计算出费用最少的路径。

定义 $N_t$ 和 $N_w$ 分别为整个网络中使用的收发器和波长链路的总个数，网络总费用定义为整个网络中使用的收发器和波长链路费用的总和，于是

$$C = N_t \times C_t + N_w \times C_w \quad (12)$$

将式(2)和式(10)代入得到

$$C = \left[ N_t \times \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) + N_w \right] \times C_w \quad (13)$$

从式(13)可以看出，只要改变 $\eta$ 的值就可以得到不同的网络总费用。因此，本试验将 $\eta$ 作为X轴，将 $C$ 作为Y轴，可以观察到不同疏导策略随费用比 $\eta$ 的变化情况，并比较了MCGP和MinWL, MinLP的网络总费用。假设每光纤有32个波长链路，每节点有32个收发器端口，以使网络有充足的资源容纳所有的流量，比较结果如图4所示。为了便于比较，MCGP的网络总费用定义为1，其他两种策略的费用对MCGP进行归一化比较。

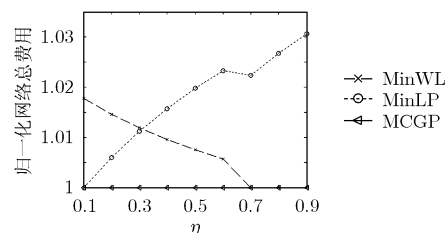


图4 不同疏导策略的归一化费用比较

从图4看出MCGP的网络总费用总是低于其他两种策略，这是因为MCGP总是选择费用最少的路径。还可以观察到，MinLP的总费用随着 $\eta$ 的变大而增加，而MinWL的总费用随着 $\eta$ 的变大而减少。从式(9)看出， $\eta$ 的变大，意味着波长链路费用的增加，从而MinWL每节约一个波长链路对网络总费用的影响就更加明显，所以MinWL的网络总费用随着 $\eta$ 的增加是不断减少的。然而收发器费用的变化与波长链路是相反的，所以MinLP的网络总费用随着 $\eta$ 的增加是不断增加的。

从图4还可以看出，当 $\eta \rightarrow 0$ 时REGP的网络总费用非常接近MinLP的值，当 $\eta \rightarrow 1$ 时，MCGP非常接近MinWL的值。这是因为，当 $\eta \rightarrow 0$ 时，收发器的费用起支配性作用，这时波长链路对网络总费用的影响几乎可以忽略，故MCGP就等效于MinLP。同理，当 $\eta \rightarrow 1$ 时，MCGP等效于MinWL。

## 5 结束语

为了设计出一个费用最少的网络配置，本文基于收发器节约辅助图模型提出了一种最少费用疏导策略，它根据收发器和波长链路的费用关系通过改变资源边的权值来实现节

省费用的目的。在静态条件下, MCGP 总是选择费用最小的路径来承载流量。实验证明, 不管收发器和波长链路费用比如何变化, 其网络总费用总是低于其他策略。

### 参 考 文 献

- [1] Dutta R and Rouskas G N. Traffic grooming in WDM networks: past and future. *IEEE Network*, 2002, 16(6): 46-56.
- [2] Chiu A L and Modiano E H. Traffic grooming algorithms for reducing electronic multiplexing costs in WDM ring networks. *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, 2000, 18(1): 2-12.
- [3] Zhu Keyao and Mukherjee B. Traffic grooming in an optical WDM mesh network. *IEEE J. Selected Areas in Communications*, 2002, 20(1): 122-133.
- [4] Zhu Hongyue, Zang Hui, Zhu Keyao, and Mukherjee B. A novel generic graph model for traffic grooming in heterogeneous WDM mesh networks. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2003, 11(2): 285-299.
- [5] Yao Wang and Ramamurthy B. A link bundled auxiliary graph model for constrained dynamic traffic grooming in WDM mesh networks. *IEEE J. Selected Areas in Communications*, 2005, 23(8): 1542-1555.
- [6] Yao Huaxiong, Yang Zongkai, and Ou Liang, *et al.* A transceiver saving auxiliary graph model for dynamic traffic grooming in WDM mesh networks. in the 31th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Florida, US, Nov. 2006: 319-326.
- [7] Cerutti I and Fumagalli A. Traffic grooming in static wavelength-division multiplexing networks. *IEEE Communications Magazine*, 2005, 43(1): 101-107.

姚华雄: 男, 1979年生, 博士, 研究方向为WDM网络中的流量疏导.

杨宗凯: 男, 1963年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为宽带通信网络.