

多播格状 WDM 光网络中流量疏导的一种启发性算法

戴天贵¹, 徐 永¹, 上官成木生², 谢书童³, 邱怡申¹

- (1. 福建师范大学光电信息科学与技术系, 光子技术福建省重点实验室, 福建福州 350007;
2. 福建省泉州市中国联通泉州分公司基础网络部, 福建泉州 362000;
3. 集美大学计算机工程学院, 福建厦门 361021)

摘 要: 波分复用技术的开发应用及网络业务信息的多样化促进了多播技术的应用和发展. 由于网络中波长带宽与节点间业务信息需求之间的巨大反差, 使流量疏导成为必要, 以节约网络资源和成本. 但多播的出现使流量疏导算法变得更复杂多样. 本文提出了对多播格状网络中的静态流量进行有效疏导的一种启发性算法, 并取得较为优化的结果.

关键词: 波分复用; 分插复用器; 多播光网络; 流量疏导

中图分类号: TN915.07 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 12-2257-04

A Heuristic Algorithm for Grooming of Traffic in Multicast Mesh WDM Optical Networks

DAI Tiangui¹, XU Yong¹, SHANGGUAN Chengmusheng², XIE Shutong³, QIU Yishen¹

- (1. Dept of Optics & Optical Engineering, Fujian Normal University, Fujian Provincial Key Lab of Photonic Technology, Fuzhou, Fujian 350007, China;
2. Basic Network Installations Department, Quanzhou Department of China Unicom Co. Ltd, Fengzhe Road, Quanzhou, Fujian 362000, China;
3. Computer Engineering College, Jimei University, Xiameng, Fujian 361021, China)

Abstract: With the exploration and exploitation of wavelength division multiplexing (WDM) technology, the diversification of traffics in networks has accelerated the application and development of multicast technology. Due to the big difference between wavelength bandwidth and the traffic requirement between each pair of nodes, it is necessary to groom the traffics in the network to reduce the resource usage and costs of networks. But the algorithms of traffic grooming become more complex with the appearance of multicast. This paper proposes a heuristic algorithm which grooms the static traffics in multicast mesh optical networks efficiently and achieves a good result.

Key words: wavelength division multiplexing (WDM); add/drop multiplexer (ADM); multicast optical network; traffic grooming

1 引言

波分复用(Wavelength Division Multiplexing, 简称 WDM)技术的应用, 为现代的信息传输提供了极大的容量, 但也使网络中各个节点的信息处理更为繁重. 随着网络技术的发展, 多播将成为网络中信息传播的一种重要形式. 其中用选路开关的功率分配(分光)特性来实现多播是最常用的一种. 与其他方式相比, 它具有占用信道资源少, 波长带宽利用率高, 运行成本低, 运行效率高, 通信透明度高, 网络时延小等优点^[1]. 因此, 本文将讨论这种形式的多播光网络.

流量疏导是多播网络优化中的一个重要问题. 有效的疏导可降低网络的建造成本和运行成本, 提高网络中各种资源的利用率和信息处理效率. 由于高速骨干光网络中插分复用

器(Add/Drop Multiplexer, 简称 ADM)的价格十分昂贵, 而高速度大容量的信息复用与解复用操作决定了每一个 ADM 只能工作在一个波长信道上. 因此减少网络中的 ADM 的需求量就成为减少网络建造成本的关键, 这是我们进行网络信息流量疏导所要优化的主要目标.

目前对光网络的研究主要集中在路由与波长分配(Routing and Wavelength Assignment, 简称 RWA)的算法方面^[1~9], 而有关流量疏导方面的研究大多数集中在单播光网络上^[7~9], 也有一小部分工作涉及到多播光网络中的流量疏导问题^[10, 11]. 在本文中, 我们将对文[11]中的算法进一步优化, 提出了对稀疏多播格状 WDM 光网络中的任意形式静态流量进行疏导的启发性算法. 这个算法是在网络中的虚拟源的优化分布基础上综合利用最短路径法与最小波长拥塞率而提出

的,可用于各种形式的网状网络的流量疏导,对现有网络的优化升级有一定的指导意义.该算法也可用于网络建造之前的优化设计,以最大限度地减少网络的成本.

2 网络结构

2.1 多播网络的节点结构

多播网络中的节点是否具有分光的能力,取决于该节点是否拥有具有分光能力的选路开关.具有分光能力的节点,称为可多播节点(Multicast Capable Node,简称MC节点),否则称为不可多播节点(Multicast Incapable Node,简称MI节点)^[2].这两种节点的主要区别在于选路器结构的不同.在MI节点中,各波长信道被解复用后,由空分选路器路由到预期的输出光纤.由于这种节点只把一个输入信号导出到一个预期的输出光纤,没有分光能力,因而不具有多播功能.而在MC节点中,一个信号先经过两层分光器进行功率分割,再由空分选路器输出到预期的多个光纤,并用可调滤波器来选择波长.这两种选路器中都含有波长转换器,用来进行波长转换以避免在输出光纤中出现波长冲突.由于MC节点的结构比MI节点的结构要复杂得多,其价格也就昂贵得多,因此本文中我们只用少量的MC节点以节约网络建造成本,这种网络亦称为稀疏多播网络.当然这两种选路器都可以根据需要从光信号中抽出一部分能量为自己所用,并将其余部分继续往前传播到相邻的下游节点.

2.2 网络的构建

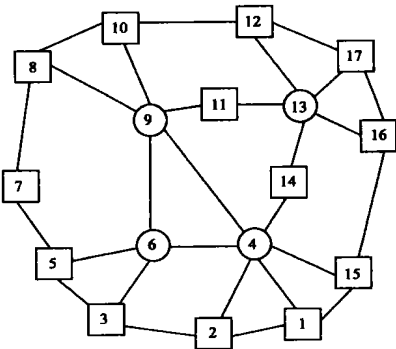
我们用 Prufer 数的方法产生一棵生成树^[2],然后在此基础上再添加部分边的方法来构建网络,从而保证了网络的连通性和网络形式的现实性.由于我们所采用的是稀疏多播网络,因此我们就在该网络中配置若干MC节点作为虚拟源(简称VS,它是一种既有多播能力,又有波长转换能力的MC节点)^[2],并将它们均匀地分布在网络中,然后在网络中随意地产生若干个可多播信息源及各自的终端节点集,每个多播信息的流量大小也是任意的.

3 静态流量疏导及其算法实现

本节中,我们将研究多播网中任意静态流量的疏导问题.我们将以图1所示网络的物理拓扑结构为例进行信息流量的疏导,其话路集及其业务量分布如表1所示,表中的业务量以OG3为单位,网络中的波长带宽为OG12.下面我们主要就路由和波长分配以及流量疏导的算法作较为详细的描述.

3.1 路由和波长分配

我们采用从虚拟源发出和基于虚拟源的多播方法进行路由和波长分配^[2].一个信息先经过第一个虚拟源节



图中○为MC节点,□为MI节点
图1 一个网络例子及其网络中的话路

点,然后经过第二、第三……虚拟源,最后到达该信息各终端节点.我们按上述方法并结合 Washall 算法^[12]和波长最小拥塞法^[6]来寻求较优的RWA方案.对每一个话路先选出若干条跳距最短的备用路径,再从中选出一条波长数最少的路径,然后为该话路分配波长.这就保证了话路所通过的光纤链路是波长信道数最少且路径最短.但如果某一备用路径能将该话路的某些终端节点串在一起,则优先选用这条路径,以节省波长信道.光树建立的顺序是先从源节点到第一虚拟源,然后再从该虚拟源到与之直接相连的那些终端节点,不能与之直接相连的终端节点则按就近的原则先将它们与最近的虚拟源相连,或与那些已连上的终端节点相连,最后再连到第一虚拟源上,其连接的路径选择也遵循前面所说的选路原则.我们将这一算法称之为L³CVS (Least Length and Least Congestion Based on Virtual Source) RWA 算法.

表1 话路集及其业务量分布

话路	源节点	终端节点	业务量
1	8	1,3,5,9,11,15	3
2	16	2,4,8,10,12	2
3	3	1,2,5,7,10,11	2
4	1	2,4,10,16,17	3
5	17	1,2,5,9,11,13	1

3.2 流量疏导算法

在进行流量疏导时,我们将在尽量减少波长数的情况下最小化网络中的ADM数,具体算法如下:

- (1)确定网络中的话路数量 s , 令已建立的光树数 $t = 1$, 被分配的波长信道 $W = 1$, ADM 数 $A = n_t$, 其中 n_t 为第 t 个光树所用的 ADM 数;
- (2) $s = s - 1$, 如果 $s = 0$ 则疏导完毕, 输出疏导结果: s, t, W, A , 否则执行步骤(3);
- (3)选择一话路进行疏导, $t = t + 1, W = W + 1, A = A + n_t$, 当该话路的源节点为其他已疏导话路的终端节点且从这个终端节点输出的信道剩余带宽满足该话路的通话要求时 $A = A - 1$;
- (4)检查新话路与原有话路的共用光纤链路数 L , 若 $L > 0$ 则选择一个共用链路, 执行步骤(5), 否则返回步骤(2);
- (5)令复用后可节省的 ADM 数 $n_m = 0$, 被复用的信道波长 $\lambda_m = \text{NULL}$, 从共用链路的起始节点开始检查并确定链路中的波长信道数 W' , 选择其中的一个信道 λ ;
- (6)如果信道 λ 上的剩余带宽容量大于或等于这个话路的信息容量, 执行步骤(7), 否则转步骤(10);
- (7)如果共用链路的起始和终端节点中对波长 λ 的 ADM λ 的总数为 n_d , 新的话路复用在该波长 λ 上后需要添加 $2 - n_d$ 个 ADM λ . 若这个新的话路与原信道所要到达的共同的目的节点数为 n_o , 则新话路的终端节点上的 ADM 可节省下来, 即在共用光纤段 L 上将新话路复用在该波长 λ 上可节省的 ADM 数为 $n_\lambda = (2 - n_d - n_o)$;
- (8)如果 $n_\lambda > n_m$, 则 $n_m = n_\lambda, \lambda_m = \lambda$, 检查下一个信道, $W' = W' - 1$, 如果 $W' > 0$, 则执行步骤(6), 否则执行步骤(9);

(9) 如果 $n_m \geq 0$, 则将新的话路复用在波长 λ_m 上, $A = A - n_m$, 执行步骤 (10), 如果 $W = 0$ 时话路尚未复用在某一波长上则执行步骤 (10);

(10) $L = L - 1$, 若 $L = 0$ 且在所有的 L 条共用链路都有复用时, $W = W - 1$, 返回步骤 (2), 否则选择下一个共用链路, 执行步骤 (5)。

在这一算法中, 先确定网络中的话路数 s , 然后选取其中的一个话路按已建立的光树分配一个波长信道和若干个 ADM. 接着从未建立光树的话路中选出一个光树, 这时所需的 ADM 数为 $A = A + n_i$, 波长数为 $W = W + 1$. 当新建光树的源节点为其他光树的终端节点时, 它们可共用一个 ADM, 此时 $A = A - 1$, 即这个源节点不要分配新的 ADM. 然后检查这个话路与原有话路的共用光纤链路及其数目 L , 从共用链路中选出一个来确定其中的波长信道数 W' , 设将新话路复用在在这个光纤链路的一个波长上可节省的 ADM 最大数为 n_m , 这个波长信道为 λ_m , 并使 $n_m = 0, \lambda_m = \text{NULL}$. 从第一个信道开始检查其波长信道的剩余带宽容量, 若大于该话路的通话容量要求即可进行复用. 因为复用后在这个共用光纤的起始和终端节点对波长 λ 都要有一个 ADM_λ , 设在这个光纤的起点及终点中对波长 λ 已有 ADM_λ 的总数为 $n_d [n_d \in \{0, 1, 2\}]$, 那么需添加 $2 - n_d$ 个 ADM_λ . 如果这个新的话路与原信道所要到达的目的节点相同, 则新话路在这一目的节点上所用的 ADM 可省去. 若设这个新话路与原信道所要到达的相同的目的节点为 n_o , 则将新话路复用到这个波长上后可节省的 ADM 数为 $n_\lambda = (2 - n_d - n_o)$. 重复上述过程, 记下将新话路复用在这些信道上所节省的最大的 ADM 数 n_m 和这个信道 λ_m . 若 $n_m > 0$, 则将新话路复用在那个波长信道 λ_m 上, $A = A - n_m$. 接下来检查下一个共用光纤链路, $L = L - 1$, 当 $L = 0$ 时该话路在所有共用链路上都有复用, 就可以节省一个波长资源: $W = W - 1$. 从未建立光树的话路中重新选一个来建立光树, 开始新的一个循环, 当 $s = 0$ 时算法结束并输出结果。

4 疏导结果

运用上节的疏导算法对图 1 的网络及表 1 的话路进行疏导. 疏导前的光树结构如图 2, 疏导后网络中所需的波长信道和 ADM 数如图 3 所示, 光树及其所分配的波长信道如图 4。

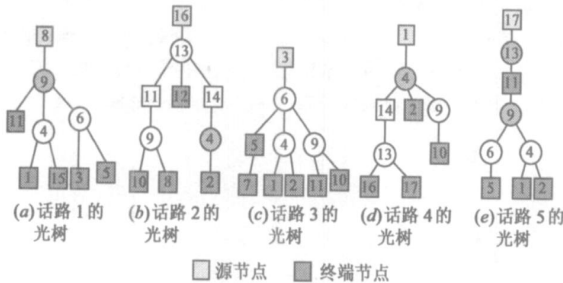


图 2 各话路的路由: 每个话路的源节点及其终端节点

从图 2 可以看出, 各话路在路由之后, 除了光树的源节点与虚拟源节点距离较远, 源节点在到达虚拟源节点之前就已经连上了所有的终端节点外——这种情况不需要虚拟源节点, 每个光树都含有唯一的一个第一虚拟源节点, 但第二、第

三……虚拟源节点数则不相等. 经过这样的路由之后, 各话路的传播路径在其信息传播期间固定不变。

从图 3 中可看出, 疏导后网络中所需的 ADM 数比疏导前少, 所占用的波长信道资源也相对较少. 随着网络规模的增大, 网络中信息源数目的增多, 本文算法所能节省的网络费用占未疏导时网络总成本的比例将逐渐增大, 网络的可扩展能力也得到相应的提高. 由图 4 可以看出, 第一与第二个光树共用了一个波长 W_1 , 第三个光树经过疏导后, 它在链路 $\langle 4, 1 \rangle$ 、 $\langle 6, 5 \rangle$ 和 $\langle 5, 7 \rangle$ 上用与光树 1、2 不同的波长, 用另一个波长信道 W_2 进行承载. 而该话路在链路 $\langle 4, 2 \rangle$ 上与话路 2 进行复用, 也使用波长信道 W_1 . 在其他光纤链路上, 话路 3 则是对 W_1 进行波长重用. 第四个光树在链路 $\langle 4, 2 \rangle$ 和 $\langle 9, 10 \rangle$ 上因为波长带宽限制而使用新的波长 W_2 , 第五个光树在疏导之后重用了波长 W_1 , 并且在链路 $\langle 4, 2 \rangle$ 上把信息复用在 W_2 上. 这样疏导后 5 个话路共使用 23 个 ADM, 2 个波长。

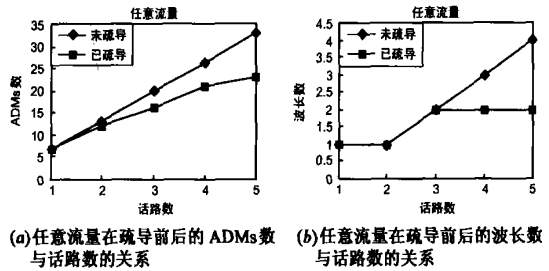


图 3 静态任意流量的疏导结果

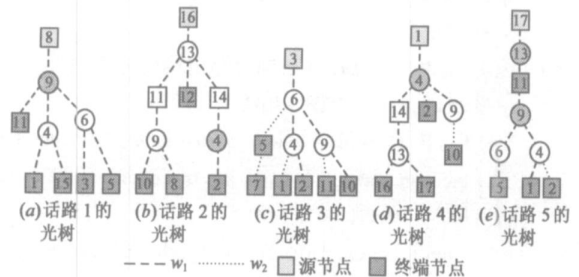


图 4 疏导后的光树及其所用的波长

从图 3 可以看到, 随着网络中话路数的增加, 疏导后所节省的 ADM 和波长的费用的比例逐步增大. 当网络中为 5 个话路时, 疏导后所节省的 ADM 为未疏导网络中 ADM 总数的 30.3%, 占疏导后的 43.5%, 网络中所用的波长信道数目仅是未疏导网络波长信道数的 50%. 因此, 通过以上方法的疏导, 网络所占用的资源大大地减少, 网络资源的利用率有了很大的提高. 通过 L^3CVS RWA 和这个启发性疏导算法 (L^3CVS Heuristic Grooming Algorithm, 简称 L^3CVS HG 算法), 我们可以使网络中信号传输的时延最小化, 同时保证各光纤链路中的信息流量载荷在网络中得到均衡, 且大大地节省了网络的资源和成本, 提高了网络的资源利用率和运行效率. 这个疏导方法的提出对网络的建造和升级具有实际的指导意义。

5 结论

本文讨论了多播光网络中的流量疏导问题, 提出了多播格状网中静态任意形式流量疏导的一种启发性算法. 运用这

个疏导算法,能减少多播格状网络中所需的 ADM 数和波长信道数,从而节省了网络的建造成本和运行成本,提高了网络的扩展能力. 本文的算法虽然是对静态流量的疏导而提出的,但由于静态流量的疏导是动态流量疏导的基础,在今后的研究中,我们将对该静态疏导算法进行一些修改,并添加新的算法模块,使之可用于动态流量的疏导,并对其作进一步深入的研究,以期得出更高效的算法,更优化的结果.

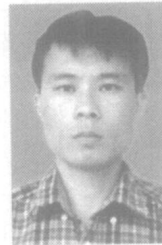
参考文献:

- [1] X Zhang, J Wei, C Qiao. Constrained multicast routing in WDM networks with sparse light splitting[J]. IEEE J Light wave Technology, 2000, 18(12): 1917- 1927.
- [2] N Sreenath, C Siva Ram Munthy, G Mohan. Multicast routing in WDM optical networks[A]. L Ruan, and D-Z Du. Optical Networks Recent Advances [C]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. 205- 270.
- [3] G Sahin, M Azizoglu. Routing and wavelength assignment in all optical networks with multicast traffic[J]. European Transactions on Telecommunications, 2000, 11(1): 55- 62.
- [4] 叶亚斌, 张汉一, 等. 静态波长路由光网络中路由和波长分配算法的统计修正[J]. 电子学报, 2001, 29(7): 961- 964.
YE Y, ZHANG H, et al. Statistical modification of routing and wavelength assignment algorithms in static wavelength routed optical network[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(7): 961- 964. (in Chinese)
- [5] 魏宏, 刘钢, 等. SDH 网络综合路由调度方案[J]. 电子学报, 2003, 31(7): 1008- 1011.
WEI H, LIU G, et al. A new integrated routing algorithm for SDH transport network[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(7): 1008- 1011. (in Chinese)
- [6] L Li, Arun K Somani. Dynamic wavelength routing using congestion and neighborhood information[J]. IEEE/ ACM Transactions on Networking, 1999, 7(5): 779- 786.
- [7] Y Xu, SC Xu, BX Wu. Traffic grooming in unidirectional WDM ring networks using genetic algorithms [J]. Computer Communications, 2003, 25: 1185- 1194.
- [8] Y Xu, SC Xu, BX Wu. Strictly nonblocking grooming of dynamic traffic in unidirectional SONET/WDM rings using ge-

netic algorithms[J]. Computer Networks, 2003, 41(2): 227- 245.

- [9] K Zhu, B Mukherjee. Traffic grooming in an optical WDM mesh network[J]. J Selected Areas in Communications, 2002, 20(1): 122- 133.
- [10] Ahmed E Kamal, Raza Uf Mustafa. Multicast traffic grooming in WDM networks [A]. Arun K. Somani and Zhensheng Zhang. OptiComm 2003: Optical Networking and Communications[C]. USA: SPIE, 2003, 5285. 25- 36.
- [11] 戴天贵, 徐永. 多播格状 WDM 光网络中的流量疏导 [A]. 毛谦. 全国第十一届光纤通信暨第十三届集成光学学术会议论文集 [C]. 北京: 人民邮电出版社, 2003. 95- 99.
- [12] Sara Baase, Allen Van Gelder. 计算机算法——设计与分析导论(第三版影印版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 6.

作者简介:



戴天贵 男, 1973 年 5 月出生于福建莆田, 硕士, 福建师范大学物理与光电信息技术学院助教, 主要研究方向为全光通信网络、多播光网络的设计和优化. E-mail: tg dai@ fjnu. edu. cn.



徐永 男, 1959 年 6 月出生于福建建阳, 福建师范大学教授, 激光研究所副所长, 博士, 硕士生导师, 现为英国伯明翰大学计算机科学学院博士后研究员, 2001 年 10 月至 2002 年 10 月曾在香港城市大学电脑工程与资讯科技系进行为期一年的研究, 现主要从事 WDM 全光网络的设计和优化、神经网络及演化算法方面的研究, 他是 IEEE/ ACM Transactions on Networking, Computer Networks 等 10 种期刊及国际会议的论文评审人, 是其他 7 个国际会议的程序委员会委员, 还是国际期刊“International Journal of Computational Intelligence and Applications”有关通信网络优化设计特刊的第一特邀编辑, 曾获福建省科技进步三等奖一项, 福建省自然科学优秀论文三等奖一项及其他科研奖励多项, 近年来, 在国内外学术刊物及国际、国内学术会议上发表论文 50 多篇, 被 SCI 及 EI 收录 10 余篇. E-mail: y. xu@ cs. bham. ac. uk.