

文章编号: 0258-7025(2004)08-0963-04

混合光波长转换在波分复用光网络中的应用

何 军, 刘德明, 李 蔚, 杨春勇

(华中科技大学光电子工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要 在全光网络中, 如何合理利用波长转换来降低光网络的阻塞率是一个非常关键的问题。研究了最新的波长转换体系结构和波长转换手段, 提出一种全新的混合波长转换方法, 在减少网络中波长转换器个数的同时, 维持阻塞概率类似于全波长转换。提出了 5 种不同的波长转换器使用策略, 并利用数值模拟的方法, 比较了这 5 种不同的波长转换器使用策略, 分析结果, 得出了最小化光网络的阻塞概率的波长转换使用策略。结合混合波长转换和波长转换器使用策略, 进一步提出了光网络中优化波长转换器配置的遗传算法, 通过对 14 个节点的美国自然科学基金网(NSF Net)的数值模拟, 结果表明它是十分有效的, 在减少光网络中波长转换器数量, 且不增加光网络波长数量的情况下, 基本保持原有网络性能。

关键词 光通信; 波分复用光网络; 选路与波长分配; 混合光波长转换; 遗传算法

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

Utilization of Hybrid Optical Wavelength Conversion in Wavelength Division Multiplexing Optical Networks

HE Jun, LIU De-ming, LI Wei, YANG Chun-yong

(Department of Optoelectronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract How to utilize wavelength conversion is the key factor in improving the blocking performance in wavelength-routed all-optical networks. The paper studies the novel conversion wavelength architectures and methods, and proposes a hybrid wavelength conversions, which can reduce the number of wavelength converters and preserve the performance. The paper examined five different wavelength converter utilization schemes and presented the best wavelength converter utilization strategy with simulation. Considering hybrid wavelength conversion and wavelength converter utilization strategy, a scheme of optimal wavelength converter placement in optical networks is presented by genetic algorithm and the simulation results demonstrate that it can hold the network performance and need not increase the number of wavelength.

Key words optical communication; wavelength division multiplexing optical network; routing and wavelength assignment; hybrid optical wavelength conversion; genetic algorithm

1 引 言

从目前的研究和试验进展来看, 波分复用(WDM)波长路由光网络可能成为建设下一代宽带网络的首选技术^[1]。它利用了光纤传输链路的巨大带宽, 网络节点处采用光分插复用器(OADM)或光

交叉连接设备(OXC)在光层终端之间建立光连接, 即光通道, 而同一光纤中的不同光通道必须分配不同的波长, 这是保证网络能够正常运行的限制条件之一。如果网络节点没有波长变换, 则光通道在两个终端之间的所有链路上必须使用同一波长, 这就是所谓的波长一致性约束; 如果节点具有波长变换

收稿日期: 2003-02-19; 收到修改稿日期: 2003-07-01

基金项目: 武汉市科技攻关项目(No. 2002100513004)资助课题。

作者简介: 何 军(1980—), 男, 湖北人, 华中科技大学光电子工程系硕士研究生, 主要从事光网络路由与波长分配问题的研究。E-mail: hejun_2k@hotmail.com

功能,则此时构成的是端到端之间逻辑上的光通路,称为虚光路。

网络中能使用的波长数目是有限的,而且,随着波长数目的增加,网络节点所需器件的规模和本也也随之增加,同时也增加了网络管理的难度。所以在光网络中,波长重用是非常重要的问题,而在目前大多数关于选路与波长分配(RWA)研究的光网络拓扑模型中,均假设不考虑波长转换。即要建立一个连接,就要求路由所经过的链路上有相同的空闲信道,这样对波长重用率不是很高。利用波长转换器可以增加 10%~40%的波长重用率^[2]。但如果利用完全波长转换的方法,需要的波长转换器个数为节点数量×节点中的波长数,这将需要非常多的波长转换器^[3,4],而波长转换器是比较昂贵的光网络设备,因而,文中提出了混合式波长转换,使得在不增加波长数量,且保持网络性能的情况下,有效地减少波长转换器的数量。

2 网络模型设计

2.1 网络模型

所研究的美国自然科学基金网(NSF Net)^[5]

(图 1)光网络拓扑模型基于以下几点约定:

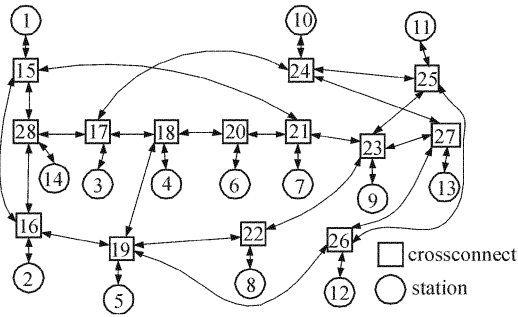


图 1 美国自然科学基金网节点 $N = 14$ 波长数 $\lambda_L = 8$
Fig. 1 NSF Net; maximum number of nodes $N = 14$
maximum number of wavelength $\lambda_L = 8$

1) 网络中包含 N 个节点和 L 个双向光纤。每个节点包含一个终端节点和一个路由节点,终端节点发射和接受光路(实现上/下路的功能),路由节点把光路从源节点路由传送到终端节点(实现交叉互连的功能)。

2) 任意直接相连的两个节点之间包含一对方向相反的单向光纤或一个双向的光纤,这被称为一个物理链路(Link)。由于光传输系统的高速性,物理链路的长度可以使用链路通过的节点跳(Hops)

数直接表示。

3) 任意两个节点之间的通信都占用且只占用一个波长信道。

4) 均匀通信流量,所有的通信在网络上均匀分布。来自网络上每个源节点的通信数目相同,所有通信的目的节点平均分布在网络上。网络中任意两个节点之间都有双向的通信要求,因此网络总的通信量为 $N \times (N - 1)$ 个光路。

5) 仿真一百万次呼叫情况,通信负荷从 0 到 100 厄兰(Erlang,话务单位,占线小时)。

6) 光网络使用 8 个波长。

7) 利用最短路径路由算法来找到源节点和目的节点之间的通路。如果几条通路跳的数目是一样的,那么路由的选择就是随机的。

8) 呼叫的到达服从泊松分布,占用时间服从指数分布。

9) 噪音、信号功率衰减、物理层故障等,在仿真系统中不加以考虑。

2.2 混合波长转换方案

在很多研究中都假设节点包含固定数量的波长转换器,而且节点的结构也是一样的。但要求网络中每个节点包含的波长转换器数目一样且结构相同是不现实的。而且,固定的节点结构会导致波长转换器的利用率低下。这是因为在一个网络中,如美国自然科学基金网络的每个节点的拥塞情况是不同的。而且固定的节点结构限制了波长转换器的配置,所以阻塞概率为次最优。混合式的波长转换节点结构非常灵活,每个节点包含了不同数量和结构的波长转换器。所以混合式波长转换节点能够减少波长转换器的个数,提高单个波长转换器的利用率,并且降低节点拥塞概率。

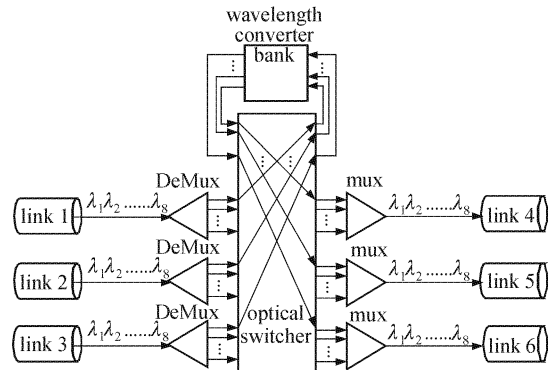


图 2 用于美国自然科学基金网网络节点中的新式混合全光波长转换结构图

Fig. 2 Hybrid architecture in NSF Net: full wavelength converters at a crossconnect node

针对分级结构^[6]在实际应用中的不便,提出将通过波长转换后出来的波长重新回到 OSW (Optical Switcher)中的方案。相对多级结构,这就大大提高节点的集成性,并且提高了系统稳定性。

将图 2 所示的混合波长转换节点结构置于图 1 所示美国自然科学基金网网络中,即构成了所研究的混合波长转换网络。

2.3 波长转换器最优放置算法

选用遗传算法^[7](Genetic Algorithm)作为波长转换器最优放置算法。

遗传算法流程图如图 3 所示。

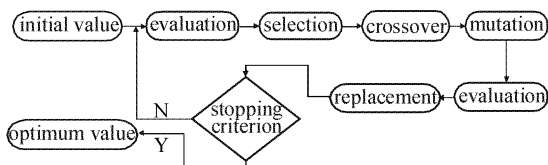


图 3 遗传算法流程框图

Fig. 3 Genetic algorithm flowchart

选用 14 位二进制矢量表示波长转换器在美国自然科学基金网节点中的放置情况。例如 10111111111111 表示在图 1 中除第 2 个节点外,其它 13 个节点全部放置波长转换器。

初始解随机产生,群体规模选取 20,交叉操作(Crossover)概率取 0.6,变异(Mutation)概率取 0.02,最大遗传代的数目设为 100。

适应度函数^[7]定义为

$$\Gamma(C) = \frac{\sum_{s,d \in V} \lambda_{sd} P_{sd}(C)}{\sum_{s,d \in V} \lambda_{sd}}$$

式中, C 为波长转换器的一个放置解, $\Gamma(C)$ 为此时的整个网络的阻塞概率, V 为网络节点集合,即图 1 美国自然科学基金网中 1~14 个节点的集合,可表示为 $V = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14\}$, $s,d \in V$ 为源节点与目的节点对,美国自然科学基金网中,共有 $P_8^2 = 14 \times 13 = 182$ 个节点对, λ_{sd} 表示每单位时间内节点对 $s,d \in V$ 间的平均呼叫数,即图 1 中每个节点与其他 13 个节点之间呼叫数的平均值,所有节点的 λ_{sd} 之和为网络负荷,取值范围从 0 到 100 Erlang。 $P_{sd}(C)$ 表示节点对 $s,d \in V$ 间的光通道阻塞率,为图 1 中任意两个节点间的阻塞率,取值范围从 0 到 1,当 $P_{sd}(C) = 0$ 时,光通道完全无阻塞; $P_{sd}(C) = 1$ 时,光通道完全阻塞。

通过计算 $\Gamma(C)$ 得到新一代的适应度,然后和其父代比较,若适应度比父代大,则代替父代;若比父代小,则抛弃新一代。

当阻塞概率最优或达到最大代数时,结束遗传算法,得到最优放置。

2.4 波长转换器使用策略

下面介绍 5 种波长转换器使用策略,并通过数值模拟计算 5 种策略阻塞概率,比较结果,得出最小化光网络阻塞概率的波长转换使用策略。

1) CAN (Conversion As Needed): 只要有需要,就进行波长转换。

2) COIN (Conversion Only If Necessary): 如果有必要,才进行波长转化。

3) TNWA (Try no wavelength assignment scheme): 不利用任何波长转换器来实现光路由。

4) TNWA-CAN: 先利用 TNWA 策略进行路由,如果无法实现,再利用 CAN 策略使用波长转换器进行路由。

5) TNWA-COIN: 先利用 TNWA 策略进行路由,如果无法实现,再利用 COIN 策略使用波长转换器进行路由。

对图 1 中的美国自然科学基金网中每个节点安放 8 个波长转换器,即 112 个波长转换器,然后分别采用以上 5 种策略,进行计算,其结果如图 4 所示。

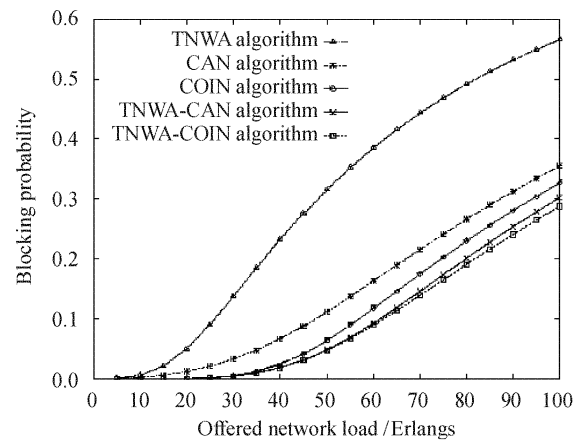


图 4 波长转换器使用策略性能比较

Fig. 4 Comparison of different categories for the NSF net

从图 4 中 TNWA 曲线上可以看到,如果选用没有波长转换器算法,8 个波长在负荷到 40 Erlangs 的时候,阻塞概率已经达到 0.24,显然 8 个波长无法实现美国自然科学基金网的要求。比较图 4 中 CAN 与 COIN 曲线发现 CAN 算法效果要差于 COIN 算法,这是由于在只要有需要,就进行波长转换的情况下,很可能出现不必要的波长交换。如节点 1 有空闲波长 λ_1 ,节点 2 有空闲波长 $\lambda_1 \lambda_8$,那么在

利用 CAN 算法时,节点 1 发现节点 2 有 λ_8 为空闲波长,它就马上使用波长转换器将 λ_1 转换为 λ_8 ,这样就出现了不必要的波长转换情况。因此,在网络负荷变大的情况下,CAN 算法性能将明显低于 COIN 算法。

当使用 TNWA-CAN 与 TNWA-COIN 算法时,均优于 CAN 与 COIN 算法,在大负荷情况下,TNWA-COIN 算法仍然优于 TNWA-CAN。

2.5 仿真结果

仿真算法如下:

1) 首先确定网络拓扑结构,得出所需波长转换器数量,设定波长转换器使用策略。

2) 利用遗传算法得出最优波长转换器放置节点。

3) 将混合式波长转换结构放入节点,并根据网

表 1 不同数量波长转换器性能仿真结果

Table 1 Simulation results from hybrid wavelength conversion with different number of wavelength converters

Load	Hybrid wavelength conversion 1 (112)	Hybrid wavelength conversion 2 (94)	Hybrid wavelength conversion 3 (86)
5	0.0000	0.0000	0.0000
10	1.0000E-6	1.0000E-6	1.0000E-6
15	4.1000E-5	4.1000E-5	4.1000E-5
20	3.2100E-4	3.2100E-4	3.2100E-4
25	1.4700E-3	1.4700E-3	1.4700E-3
30	4.0500E-3	4.0500E-3	4.0500E-3
35	9.3030E-3	9.3030E-3	9.3030E-3
40	1.7965E-2	1.7965E-2	1.7965E-2
45	3.0217E-2	3.0217E-2	3.0217E-2
50	4.6230E-2	4.6340E-2	4.6460E-2
55	6.5211E-2	6.5588E-2	6.5641E-2
60	8.7365E-2	8.7521E-2	8.7875E-2
65	1.1141E-1	1.1149E-1	1.1192E-1
70	1.3712E-1	1.3729E-1	1.3776E-1
75	1.6319E-1	1.6345E-1	1.6368E-1
80	1.8933E-1	1.8995E-1	1.9053E-1
85	2.1478E-1	2.1625E-1	2.1681E-1
90	2.4062E-1	2.4145E-1	2.4245E-1
95	2.6498E-1	2.6613E-1	2.6735E-1
100	2.8816E-1	2.8954E-1	2.9015E-1

络节点在遗传算法中的结果,配置波长转换节点中波长转换器数量。

4) 减少波长转换器数量后,以此为初始波长转换器数量,返回 2) 步,继续优化,直到满足要求。

表 1 中的结果是将图 2 中混合波长转换节点结构放置于图 1 中美国自然科学基金网节点后,使用 TNWA-COIN 算法得到的阻塞概率结果。

3 结 论

提出了混合式波长转换机制和两种波长转换器利用策略。混合式转换器体系结构在设计未来的不同波长转换节点时提供了灵活性,这样能够使波长转换器利用率最大化。仿真结果显示使用混合波长转换机制能减少波长转换器的数量,在维持拥塞概率类似于全波长转换。

分析并仿真了 5 种波长转换器使用策略,其中 TNWA-COIN 波长转换使用策略最好,它有最大的波长转换器利用率,其波长转换使用策略能明显降低光网络拥塞概率。

参 考 文 献

- 1 B. Mukherjee. WDM optical communication networks: progress and challenges [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, **18**(10):1810~1824
- 2 R. Ramaswami, K. N. Sivarajan. Routing and wavelength assignment in all-optical networks [J]. *IEEE/ACM Transaction on Networking*, 1995, **3**(5):489~500
- 3 Ye Yabin, Zheng Xiaoping, Zhang Hanyi *et al.*. Study on extinction ratio equalization of up/down wavelength conversion based on cross gain modulation in semiconductor optical amplifier [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(4):323~326
叶亚斌,郑小平,张汉一等. 增益调制型波长转换器消光比均衡的研究[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(4):323~326
- 4 Zhao Tonggang, Ren Jianhua, Li Wei *et al.*. Heoretical model analysis of wavelength conversion based on semiconductor laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(9):1071~1075
赵同刚,任建华,李蔚等. 半导体激光器实现波长转换的理论模型分析[J]. *光学学报*, 2003, **23**(9):1071~1075
- 5 S. Baroni, P. Bayvel. Wavelength requirements in arbitrarily connected wavelength-routed optical networks [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(2):242~251
- 6 J. T. Lee. Efficient placement of wavelength converters in an optical fiber network [D]. Master's thesis, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, 68588-0115, U. S. A., 1999
- 7 J. H. Siregar, H. Takagi, Y. Zhang. Optimal wavelength converter placement in optical networks by genetic algorithm [J]. *IEICE Trans. Commun.*, 2002, **E85-B**(6):1075~1082