

## 具有生存性的WDM网络性能分析\*

张雷\*\* 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**研究了在动态业务量时,可调谐光收发器和波长变换器对生存性WDM网络性能的影响。通过在NSFNET、CERNET、MESH-TORUS网络中的仿真,又从网络阻塞率方面研究了两者对WDM网络性能的影响。研究表明,在业务量为动态的生存性WDM网络中,可调谐光收发器和波长变换器对网络的性能都有显著的提高,但波长变换器对网络性能的改善要大于可调谐光收发器。

**关键词** WDM网络; 可调谐光收发器; 波长变换器; 生存性; 阻塞率

**中图分类号** TN929.11

## Performance Analysis of Survivable WDM Network

Zhang Lei Li Lemin

(National Key Lab of Broadband Optical Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** The influence of tunable transceiver and wavelength converter to the performance of survivable WDM network under the condition of dynamic traffic is studied in this paper. By simulation in NSFNET(the U.S. National Science Foundation backbone network), CERNET(China Education and Research network) and MESH-TORUS network, we analyze the blocking performance of wavelength converter and tunable transceiver in survivable WDM network, the result shows that although the wavelength converter and tunable transceiver can improve the blocking performance, the performance gain of wavelength converter is much better than that of tunable transceiver under dynamic traffic in survivable WDM network.

**Key words** WDM network; tunable transceiver; wavelength converter; survivable; blocking probability

WDM技术正在成为骨干光纤网中最具吸引力的技术。在OXC(Optical Cross-Connects,光交叉连接设备)中装备有波长变换器(Wavelength Converter)的WDM网络称为波长变换网络;反之,不具有波长变换器的WDM网络称为波长连续网络。网络生存性泛指网络经受各种故障以及灾难性大故障后仍能维持可接受的业务质量的能力,由于WDM传送网中每根光纤的容量巨大,传送网中的任何故障都会造成严重的损失,所以网络的生存性已成为WDM网中重要的不可分割的部分。本文主要研究在动态业务量情况下,波长变换器和可调谐光收发器对生存性WDM网络的性能影响。

### 1 波长变换器和可调谐光收发器的应用背景

波长变换器在前些年取得了明显的进步,已从最初的光/电波长变换器发展到了全光波长变换

2001年11月1日收稿

\* 国家自然科学基金资助项目,编号:69990540

\*\* 男 29岁 博士生

器。光/电波长变换器虽然能进行全范围的波长变换,但进行光/电转换时,光信号中的相位、频率、模拟幅度(analog amplitude)将会丢失,它最多只能达到数字级透明(digital transparency)。全光波长变换器由于不需要进行光/电转换,故在速率,透明性等方面都明显优于光/电波长变换器<sup>[1,2]</sup>。

波长变换器对网络性能的影响主要分为两类:一类是在静态业务量时,波长变换器对网络的影响;另一类是在动态业务量时,波长变换器对网络的影响。静态业务量是指网络中节点间的连接数目是预先确定的,通常用业务量矩阵来表示,其网络的性能主要是考虑如何优化利用网络的资源(如波长数、光纤数、光纤的总长度等)。动态业务量是指网络节点间的连接呼叫到达和持续时间都是随机的,其网络的性能主要是考虑如何降低网络的呼叫阻塞率。

在WDM网络中,光收发器是最基本的组成部件,也是网络造价的重要构成。固定调谐频率的收发器成本较低,可调频率的收发器成本较高。近年来,可调谐光收发器的发展十分迅速,调谐的速度不断得到提高,调谐的范围也大大增加。

目前WDM网络中关于生存性的研究大多数在静态业务量情况下进行。文献[3]用整数线性规划(ILP: Integer Linear Programming)和模拟退火算法(SA: Simulated Annealing)来解决当链路失效时如何优化设计网络容量的问题。通过在18个节点的网络中的仿真,得出波长变换器起的作用不大,而可调谐光收发器起较大的作用。文献[4]比较了动态调整保护路径与不调整保护路径之间的性能差别,得出不调整保护路径时的性能较优,但文献中不涉及波长变换器。文献[5]通过在欧洲光网络(EON: Europe Optical Network)中的仿真,得出在静态业务量时,利用可调谐光收发器可以使网络性能与波长变换网络性能相当。

当前,随着因特网迅速增长和网上新业务的不断产生,不仅网络中的节点数目变化较大,同时网络节点间的业务量也在不断地变化,静态业务量模型已经越来越不能满足现有的网络。在静态业务量状态下做出的结论不一定适用于动态业务量,迫切需要研究在动态业务量情况下网络的生存性。

## 2 具有生存性的路由波长分配算法

随着WDM网络的应用,传送数据的费用将更便宜,传输的链路将更长,光纤链路失效比节点失效更容易发生,比如光纤被挖断的情况时有发生<sup>[6]</sup>。动态业务量时,由于呼叫连接的到达是随机的,这就要求网络能具有在线(on-line)路由波长分配算法。因此本文设计了以下三种路由波长分配算法来恢复因链路失效导致的网络故障。

算法1:当网络节点未装备波长变换器时,路由波长分配算法是基于固定路由下的波长分配算法。由于路由算法是基于最短跳数路由算法<sup>[7]</sup>,讨论时首先选定一条最短路径,并在这条路径上的各条链路上运用波长分配算法,找到一条合适的波长作为工作波长;然后,利用最短跳数路由算法找到一条备用路径,使备用路径上的每一条链路与工作路由都不重叠,并在此备用路径上利用波长分配算法,找到一条合适的波长作为保护波长。工作波长与保护波长可以不相同,但需要节点装备可调谐光收发器,当工作波长发生故障时,可以迅速切换到保护波长。波长分配算法为First-Fit算法,该算法优于Random分配算法<sup>[8]</sup>。

算法2:当网络节点未装备波长变换器时,路由波长分配算法是基于固定路由下的波长分配算法。由于路由算法是基于最短跳数路由算法,讨论时选定一条最短路径,工作路径与备用路径选定后,在工作路径与备用路径上应用波长分配算法找到工作波长与保护波长,工作波长与保护波长相同,此时节点可以省略可调谐光收发器。波长分配算法为First-Fit算法。

算法3:当网络节点装备波长变换器时,路由波长分配算法是基于固定路由下的波长分配算法。因路由算法是基于最短跳数路由算法,讨论时选定一条最短路径,工作路径与备用路径选定后,由于节点装备波长变换器,故只需在工作路径和备用路径上的各条链路上找到一条空闲波长即可。

以上三种算法都可用来恢复链路失效导致的网络故障,当工作路径上任意多条链路发生故障时,可以切换到备用路径上的保护波长。等到工作路径上故障排除后,再切换回工作路径。虽然保护波长将占用网络资源,但可以将网络数据利用服务质量(QOS: Quality of Service)进行分级,用保护波长传送低优先级的数据,以便充分利用网络资源。

### 3 网络仿真及结果

网络仿真是基于NSFNET(the U.S. National Science Foundation Backbone Network, 美国科学基金会骨干网络)、CERNET(China Education and Research Network, 中国教育科研网络)、MESH-TORUS<sup>[9]</sup>(网孔型)网络进行的。

仿真假设:每个波长只能有一个连接,连接到达服从泊松过程。连接持续时间服从指数分布。每次连接请求的目的节点均匀分布与剩余的所有节点。网络只支持点到点的连接,连接请求不排队,即一旦阻塞立即丢弃,呼叫次数为1 000 000次。

NSFNET、CERNET的拓扑图见图1。本文用 $G(V,E)$ 表示网络的物理拓扑, $V$ 代表顶点, $V=\{1,2,\dots,n\}$ ;  $E$ 代表链路,链路为双向单光纤链路, $E=\{1,2,\dots,m\}$ ;节点间光纤链路的代价值均为1。

图2~图4分别为NSFNET网络、CERNET网络、 $11 \times 11$ MESH-TORUS网络中的性能曲线,波长数目对波长变换器的增益会有一些影响,当波长数目不大时,波长变换器增益明显;当波长数目增大时,波长变换器的增益呈下降趋势,为了更好地比较波长变换器和可调谐光收发器对网络性能的影响,图中波长数目分别为11个、9个和11个。图中曲线a为算法1的性能曲线,曲线b为算法3的性能曲线,曲线c为算法2的性能曲线。横坐标为网络负载,单位为爱尔兰(Erlang),纵坐标为网络的阻塞率(BP: Blocking Probability)。

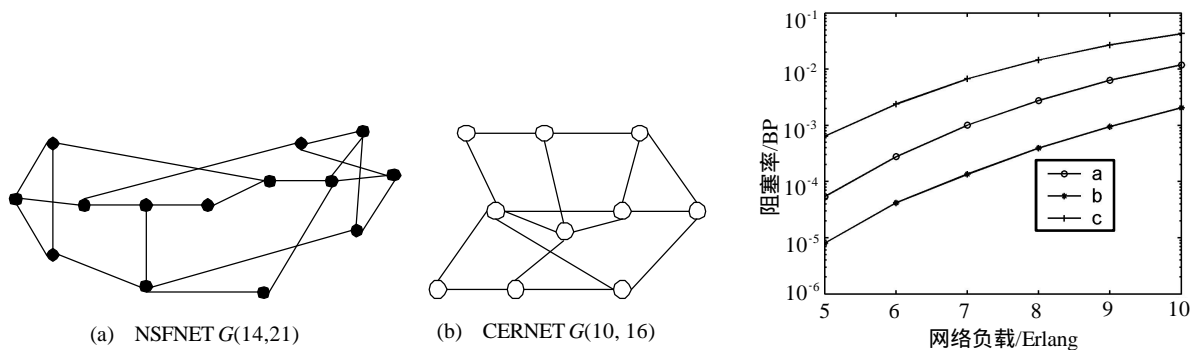


图1 NSFNET, CERNET 网络的物理拓扑

图2 NSFNET 网络(11 个波长)

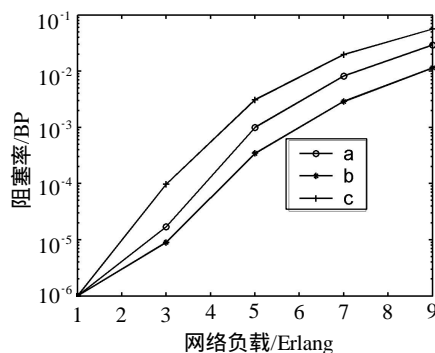


图3 CERNET 网络(9 个波长)

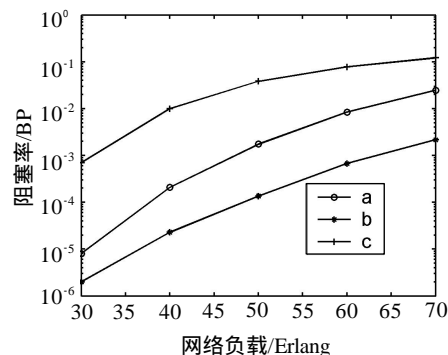


图4  $11 \times 11$ MESH-TORUS 网络(11 个波长)

从图中可以看出,3个算法中,算法3的性能曲线最好,即阻塞率最低,其次是算法1,而算法2的性能曲线是最差的。这些说明,当网络中的节点不装备波长变换器时,利用可调谐光收发器可以

使网络的性能得到一定的提高,但都比不上利用波长变换器来提高网络的性能。由此可以得出:在动态业务量和考虑网络的生存性时,波长变换器的应用能使网络的性能得到较大的提高;同时,网络中的算法也简单的多,这些跟静态业务量情况下得出的结论不同。图中还可以看出,在CERNET网络中,波长变换器的增益不如在NSFNET和MESH-TORUS网络中那么明显,这表明,网络的拓扑结构在一定的情况下也影响波长变换器的增益,关于这方面的研究还有待进一步进行。

## 4 结 论

本文比较了在动态业务量时,生存性WDM网络中波长变换器和可调谐光收发器对网络性能的影响;通过在三种不同的WDM网络中仿真比较得出:动态业务量情况下,波长变换器对网络性能的提高不同于静态业务量;当网络中的节点不具备波长变换能力时,可调谐光收发器可以提高网络的性能,但是波长变换器对网络性能的改善要明显优于可调谐光收发器,并且网络的控制也因此得到简化。

## 参 考 文 献

- 1 Yoo S J B. Wavelength conversion technologies for WDM network application. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1996, 14(6): 955-966
- 2 Elmirghani J M H, Mouftah H T. All-optical wavelength conversion: technologies and applications in DWDM networks. IEEE Communications Magazine, 2000: 86-92
- 3 Caenegem B V, Parys W V, Turck F D, *et al.* Dimensioning of survivable WDM networks. IEEE JSAC, 1998, 16(7): 1 146-1 157
- 4 Anand V, Qiao Chunming. Static versus dynamic establishment of protection paths in WDM networks. Proc. INFOCOM' 2001, 2001: 954-961
- 5 Wauters N, Demeester P. Design of the optical path layer in multiwavelength cross-connected networks. IEEE JSAC, 1996, 14(5): 881-892
- 6 隆克平. B-ISDN传送网络生存性及自愈技术研究: [博士论文]. 成都: 电子科技大学, 1998
- 7 Gondran M, Minoux M. Graph and algorithms. New York: Wiley, 1991
- 8 Kovačević M, Acampora A S. Benefit of wavelength translation in all-optical clear-channel networks. IEEE JSAC, 1996, 14(5): 860-880
- 9 Sharma V, Varvarigos E A. Limited wavelength translation in all-optical WDM mesh networks. Proc. INFOCOM' 98, 1998: 893-901

· 科研成果介绍 ·

## MDA-1 型调制域分析仪

主研人员: 周正中 余翔 周翟 蔡竞业 徐欣 杨鹏亮 吴德明 王竹红 钟沙拉

MDA-1 型调制域分析仪是在分析国外同类仪器测试功能的基础上独立设计、自行研制,拥有自主知识产权。该分析仪采用二进制 EDT 技术实现无间隙采样,采用全集成化的模拟内插技术,主机高速部分采用中、大规模 ECL 器件,低频及控制逻辑采用 TSPLSL 门阵列电路,提高了整机的集成设计可靠性。整机的系统软件工作在 Windows95 平台上,采用 Visual C++ 下拉式菜单的窗口方式及线性、非线性自适应滤波的数据处理技术。

· 科 卞 ·