

基于WDM技术光传送网的生存性分析*

罗启彬** 邱 昆 张宏斌

(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】研究了基于波长路由的WDM光传送网结构中的生存性问题，并从降低WDM光网络的成本、充分利用网络有限资源出发，提出了一种基于自愈环+网状网的WDM光传送网的自愈方案。该方案能根据业务和故障的具体情况，动态地分配网络的光纤及波长资源，增强了WDM光网络的灵活性和生存能力。且该方案构架于WDM光层之上，可根据节点对间业务的不同要求，分别采用不同的自愈保护方案，以满足不同用户业务对自愈性能的实时要求。

关键词 光传送网；波分复用；生存性；自愈

中图分类号 TN929.11

随着信息社会的飞速发展，宽带视频点播、多媒体等业务的需求不断增长，特别是Internet网的迅速发展，给数据的传输提出了更高要求。采用波分复用(WDM)技术，即在一根光纤里复用多个波长信号，能够充分利用光纤的巨大传输带宽资源，可以满足宽带宽、大容量的要求。而且，每个波长可以承载不同数据格式和不同传输速率的信号，可与现有的通信网络兼容。波分复用技术和光子交换技术相结合可组成具有高度灵活性和可靠性的WDM光传送网络^[1]，完全有可能满足未来社会的通信要求。现在研究较多的是基于光路交换的WDM光传送网，它不但具有波长重用的特点(可以节约有限的波长资源)，而且其网络的关键器件也较成熟。因此，采用路由选择和波长分配的WDM光传送网将是下一代高速广域骨干网的最有力竞争者之一^[2,3]。

巨大的传输容量和极高的传输速率使网络的可靠性和生存能力受到很大的挑战。尽管网络发生很小的故障，其影响却是不可估量的。网络的生存能力是指网络在经受各种故障后仍能维持可接受的业务质量的能力，它是网络完整性的一部分^[4]。WDM光传送网由于其固有的宽带宽和大容量特性使其在光纤断裂时遭受的损失远远大于任何电缆断裂的影响，因此，必须使WDM光传送网具有高度的可靠性和生存性，才能确保WDM光传送网的通信畅通。本文提出一种根据业务的不同要求而采取的相应的自愈保护措施，既可满足不同业务的保护要求，又节省了网络的有限资源，间接地降低了通信成本。

1 WDM光传送网中采取的自愈保护措施

目前对于电信网络故障保护方案的研究已经做了大量的工作，但在波长路由的WDM光传送网中，由于传输的信号被看成是透明、连续的数据流，因而故障的恢复不能象在电域中那样，而只能在波长域或空间域上来进行。WDM光传送网中的自愈策略主要有基于线路保护的策略和基于波长路由的WDM自愈环的保护^[5,6]，其中基于WDM环网的保护类似于SDH自愈环。

1.1 基于线路的保护策略

任何节点对间的通信都需建立一条完整的光通道，光通道的建立既可是预先分配(即静态)，也可实时地按需分配建立(动态)，而每一条光通道都是由一系列的光纤链路组成。因此从网络保护或故障恢复的来看，基于线路的保护策略又可分为光通道的保护和光纤链路的保护。

2000年11月14日收稿

* 中国高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目

** 男 28岁 硕士生

1.1.1 基于光纤链路的保护

从网络光纤资源的利用率来看, 可把保护方式细分为链路全部共享和链路部分共享的方式, 这涉及到网络空闲容量的分配问题。空闲容量的分配是网络执行自愈功能的基础, 自愈策略的实现主要依赖于网络的空闲容量的分配, 两者直接影响网络的恢复性能。

1) 链路全共享的保护方式

这种保护方式的特点是所有节点间的光通道一旦出现故障, 立即为其在整个网络的空闲光通道范围内寻找临时替换路由, 以继续原来业务的传输。由于整个网络的空闲链路都是共享的, 因此网络资源的利用率高, 缺点是网络的控制和管理复杂, 恢复时间长。如图1所示, 当工作通道1-2-4-6和1-2-4间的2-4段发生光纤断裂或其他故障时, 就可在光通道1-3-5-6和1-3-4间为其临时分配任一空闲链路作为替代, 图中虚线表示替代路由, 实线表示工作通道。

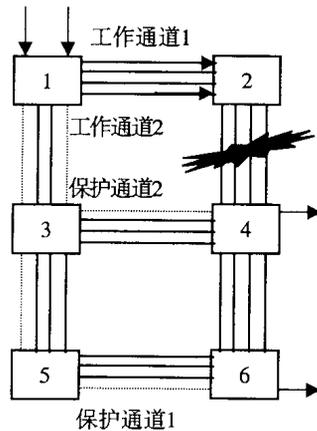


图1 链路全共享的保护方式

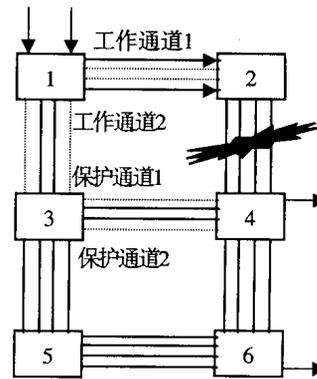


图2 链路部分共享的保护方式

2) 链路部分共享的保护方式

这种保护方式的特点是只有发生故障的端节点间的空闲链路可以共享, 需要用到节点自动转换协议, 即需要故障链路的两端节点把业务倒换到空闲的链路上去, 使通信继续进行。如图2虚线所示, 一旦工作光通道1-2-4-6和1-2-4间的2-4段发生故障时, 立即在节点2和4间寻找一条可替代的空闲链路, 而节点1和2之间及节点4和6之间仍按原来的路径。

1.1.2 基于光通道的保护

与基于链路全共享的保护方式相比, 这种保护策略通常是先为工作通道预置备分路由, 一旦检测到故障, 业务立即倒换到备分路由上。由于倒换过程只涉及源、目的节点, 与中间节点无关, 因而其控制简单, 网络可靠性高, 可以100%地保护用户的业务。且网络发生故障后业务恢复时间短, 不到50 ms, 但代价是由于网络需100%的冗余容量, 使光纤或波长资源没有得到充分的利用, 网络的建设成本较高。如图3所示, 当图中细线所示工作光通道发生故障时, 业务立即倒换到相应的粗线所示的保护通道上, 也可采用类似SDH的1+1或1:N的保护方式, 其特点是: 1) 所有节点队之间工作和保护光通道不共享任何物理链接, 即路由是分离的; 2) 不需要进行故障定位, 一旦探测到故障, 可以马上进行故障恢复; 3) 它是一个端到端的保护过程, 只涉及到源、目的节点的保护动作, 与中间节点无关。

1.2 基于波长路由的WDM自愈环^[7, 8]

环网由于其简单的拓扑结构和较短的恢复时间而倍受关注, 与SDH自愈环类似, WDM自愈环也可采用相似的结构。图4由两根光纤组成的双向WDM自愈环, 每根光纤的一半带宽用于传输业务, 另一半作为保护。例如每根光纤假设复用 N 个波长, 则可用工作光纤的 $(1 \sim N/2)$ 个波长传输业务, 剩余 $N/2$ 个波长用于保护另一根光纤的业务; 保护光纤的波长设置也一样, 节点多采用光分插

复用设备(OADM)。这种保护方式尽管自愈能力很强、恢复时间短、控制简单，但网络资源的利用率低。

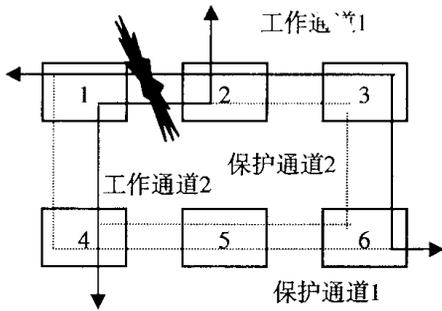


图3 光通道保护策略

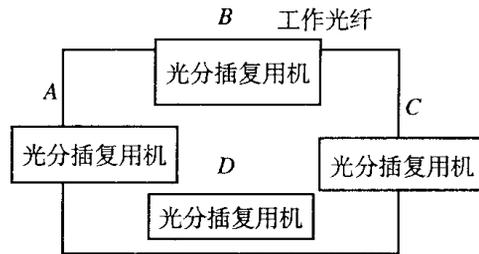


图4 两纤双向WDM自愈环

2 自愈环+网状网的保护恢复策略

网状网由于采用资源共享保护的策略，故资源利用率高，具有极强的抗毁能力，是广域骨干网普遍采用的方式，但其缺点是处理故障的时间较长，自愈环可弥补网状网这方面的缺憾。本文提出的自愈环与网状网相结合的保护策略，不但可以把故障的恢复时间控制在理想的范围内，而且还充分地利用了光网络有限的光纤和波长资源。

以美国的NSFnet为例(如图5所示)，该网络包含14个节点，21条链路，网络的最小节点度为2，最大节点度为4，从物理拓扑结构来看属于网状网类型。为了降低网络的恢复时间，可以采用如下的方式：从逻辑拓扑结构的角把该网络划分成一个个小的结构单元，每个单元形成一个自愈环。在网络发生故障时，环内业务可按自愈环的方式迅速地恢复，而环间业务的保护则可采用线路保护的方式使恢复时间满足业务的要求。

图中把节点1-2-7-8-5-4-1组成逻辑环ring1，节点1-4-5-6-3-1组成ring2，11-7-8-5-6-9-11组成ring3，10-12-14-13-10组成ring4，1-4-5-6-14-13-11-7-2-1组成ring5。其中ring1和ring2之间共享链路5-4-1，ring2和ring3之间共享链路6-5。当发生故障(如光纤断裂等)时，若通信是在逻辑环内的节点间进行，则采用WDM自愈环的方式恢复业务。例如，图中节点1和2之间的链路发生故障，由于节点1、2均属于逻辑环ring1，因此节点1、2之间的业务可通过环回到1-4-5-8-7-2路由上以达到迅速自愈的目的。而逻辑环间节点之间的通信则可通过预先安排替换路由的方式以降低恢复时间，如ring1和ring4之间的通信，可预先分配节点4-10链路的一部分资源作为备用。这样既可降低网络的恢复时间，又充分利用了网络的资源。还可按实时通信业务的需求情况动态的分配共享链路的资源，如动态分配ring1和ring2之间的共享链路5-4-1的光纤和波长资源。图6给出了三种自愈保护的资源分配方案，图6a是预先为网络业务分配保护路由(保护路由和工作通道分属不同路径)，图6b是预先为网络业务配置保护波长，图6c是根据网络业务的状况动态的分配波长。可以看出，图6a和6b均是静态的资源配置情况，而图6c能灵活地利用网络有限的资源且不影响业务的保护恢复。

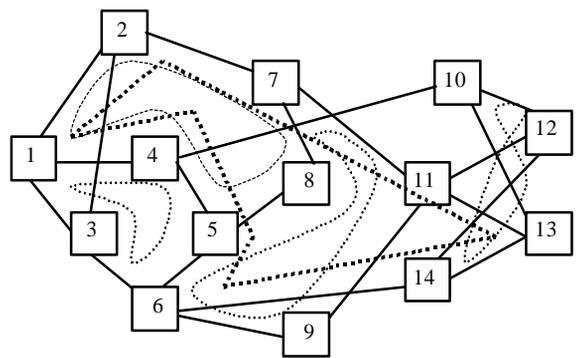


图5 NSFnet网络的物理拓扑结构示意图

4 结束语

本文分析了WDM光传送网在链路失效时所采用的网络保护和恢复方案, 比较了各自的优缺点, 并从节约网络成本、充分利用网络有限资源出发, 提出了WDM自愈环+网状网相互配合来实现自愈的方案。数值实验表明, 该方案能动态地分配有限的波长资源, 达到了充分利用网络资源的目的, 增强了网络的生存能力, 降低了恢复时间。

参 考 文 献

- 1 Hu Ming, Li Lemin. A reservation distribution method of channels for wavelength division multiplexing networks. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998, 27(3): 256~260 [胡 明, 李乐明. 一种预约式波分复用网信道分配方法. 电子科技大学学报, 1998, 27(3): 256~260]
- 2 Zhang Tao, Qiu Kun, Qiu Qi. ATM photonic switch architecture based on WDM technology. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998, 27(4):371~374 [张 涛, 邱 昆, 邱 琪. 一种基于波分复用的ATM光交换结构. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 371~374]
- 3 Gerster O, Ramaswami R. Cost effective traffic grooming in WDM rings. INFOCOM 98 ,1998: 69~77
- 4 Gerster O, Katten S. Dynamic wavelength allocation in WDM ring network. Proc IEEE ICC '97, 1997: 332~436
- 5 Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable WDM mesh networks. part I-Restoration, In Proc of ICC '99, 1996
- 6 Sakauchi H, Nishimura Y, Hasegawa S. A self-healing network with an economical spare-channel assignment. Proc IEEE GLOBECOM '90, San Diego, CA, 1990: 438~443
- 7 Johnson D. Survivability strategies for broadband networks. In IEEE GLOBECOM '96, 1996
- 8 Wuttisittikulij L, Mahony M J. Design of a WDM network using a multiple ring approach. In Proc of IEEE GLOBECOM '97, 1997

Research on Survivability of Optical Transmission Network Based on WDM

Luo Qibin Qiu Kun Zhong Hongbin

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

Abstract This paper studies the survival performance of WDM optical networks based on wavelength routing. In order to reduce cost and make full use of finite resource of WDM optical networks, a survival scheme of WDM optical network based on self-healing ring in combination with mesh network is put forward. The scheme can dynamically allocate networks' optical fiber and wavelength resource according to concrete situation of network traffic and failure, and enhance flexibility and survivability of WDM OTN, which satisfies different user service for real time demand of survival performance.

Key words optical transmission network; wavelength division mutiplex; survivability; self-healing