

网状波分复用网络的保护倒换时间分析

王志文, 夏 秦, 李增智, 李平均

(西安交通大学计算机系统结构与网络研究所, 陕西西安 710049)

摘要: 保护倒换时间是评估网状波分复用网络保护方法性能的一项重要指标, 本文就专门路径保护、共享路径保护以及共享链路保护三种保护方法, 分别建立了各自对应的保护倒换时间计算模型, 然后分析了影响保护倒换时间的主要因素, 并在此基础上提出了相应的优化策略和解决方案, 本文结果对于正确选择保护方法具有一定的参考价值.

关键词: 波分复用; 网状网络; 生存性; 网络保护和恢复; 保护倒换时间

中图分类号: TN913. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 07-1072-03

A Study of Protection Switching Time for Mesh WDM Network

WANG Zhi-wen, Xia Qin, LI Zeng-zhi, LI Ping-jun

(The Institute of Computer Architecture and Network of Xi'an JiaoTong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China)

Abstract: Protection Switching Time (PST) is an important metric on evaluating the performances of protection methods in mesh WDM network. This paper provides three types of arithmetic model of PST for dedicated-path protection, shared-path protection and shared-link protection separately. And then some optimal strategies and available solutions are provided on the base of analyzing several principal issues affecting PST. Result of this paper has some reference value for correctly choosing protection method.

Key words: wavelength division multiplexing; mesh network; survivability; network protection and restoration; protection switching time

1 引言

WDM 技术使得单根光纤链路同时传输多路客户信号成为可能, 而与此相对立的就是各种网络故障均会导致大量业务的异常中断, 因此, WDM 网络的可靠性一直受到业界人士的广泛关注. 当今最为常用的保护方法就是在网络规划和设计时预留一定的冗余资源, 且这些冗余资源构成的备用路径 (backup path) 必须满足与受保护的作业路径 (working path) 存在链路分离 (link-disjoint) 或节点分离 (node-disjoint) 的关系, 这样才能提供真正的保护. 工作路径与备用路径之间并不存在严格的一一对应关系, 而是根据受损工作路径对于承载业务的影响程度以及网络冗余资源的分配策略才能为工作路径创建合适的备用路径. 基于网状 WDM 网络的生存策略及其保护方法的研究已经引起了业界人士的大量兴趣, 具体的研究现状和进展情况请参阅文献 [1-4], 这些研究主要解决了冗余波长信道的使用效率问题, 即如何以一定的网络冗余资源来取得最大的恢复性能; 而对于实施这些生存方案所需要的保护倒换时间还没有得到较为深入的研究, 尽管文献 [5] 就环型 WDM 网络分析了 APS 技术的保护倒换时间, 但并不能直接作用于网状 WDM 网络; 为此, 本文先给出 WDM 网络保护倒换时间的计算模型, 然后分析了影响其大小的主要原因, 最后提出了相应的优化策略和解决方案.

2 保护倒换时间计算模型

保护倒换时间 PST (Protection Switching Time)^[4] 被定义为, 从网络故障发生时刻开始一直延续到跨越该故障的工作路径所对应的保护路径被启动, 并发挥作用的时刻为止的一段持续时间, 光路的保护倒换时间实际上就是由网络故障而导致的光路失效时间 (down time), 在这段时间内, 受损光路承载的所有业务信息都将被丢失, 因此, 如何减少保护倒换时间对于减少业务数据的损失具有非常重要的意义.

2.1 PST 计算模型参数描述

在提出 PST 计算模型之前, 先给出几个前提条件以及它们的形式化参数描述.

前提 1 一个网状 WDM 网络由节点 (OXC) 集合 N 和链路 (单个或多个传输反向的光纤对) 集合 L 所构成, 其中:

$$N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_m\} \quad m = |N|$$

$$L = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_m\} \quad n = |L|$$

前提 2 第 i 个节点 (OXC) 的消息排队和处理开销时间定义为 D_i , 而用于配置、测试以及设置光开关倒换状态的时间总和被定义为 C_i , 其中 $N_i \in N$.

前提 3 光信号在光纤链路路上的物理传播延迟定义为 $p_i = l_i / C_w$, $L_i \in L$; 其中 l_i 表示光纤链路的物理长度, C_w 表示承载信号的波长传播速度.

前提 4 网络故障检测时间定义为 F , 它的取值保持恒定, 链路故障和节点故障的差异在于它们如何确定各自的备用路径。

前提 5 定义故障源的检测节点到受该故障影响的工作路径的源端所跨越的节点集合和链路集合分别为 N_F 和 L_F , 按照假设前提应该满足关系: $N_F \subset N$ $L_F \subset L$ 。

前提 6 定义启动备用路径的起始节点到终结节点所跨越的节点集合和链路集合分别为 N_B 和 L_B , 按照假设前提存在关系: $N_B \subset N$ $L_B \subset L$ 。

2.2 基于保护方法的 PST 计算模型

在各种网状 WDM 网络生存技术中, 我们就几种常用保护方法来构建各自的 PST 计算模型, 尽管本文仅对单向工作路径的保护倒换时间进行了分析, 但这些过程及结果完全适用于全双工传输方式反方向上的工作路径保护。

(1) 专门路径保护 (Dedicated-path protection)

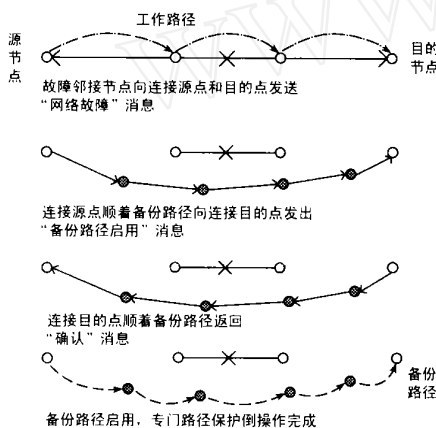


图 1 专门路径保护倒换操作流程

图 1 简要地说明了专门路径保护方法的保护倒换操作流程, 完成这些操作所需要的时间 T_{D_path} 定义为:

$$T_{D_path} = T_{detect} + T_{defer} + T_{startup} \quad (1)$$

式中: $T_{detect} = F$; $T_{defer} = P_{x1} + D_{y1}$;

$$T_{startup} = \left[\begin{matrix} P_{x2} + D_{y2} \\ L_{x2} \ L_B \ N_{y2} \ N_B \end{matrix} \right] \times 2.$$

(2) 共享路径保护

共享路径保护 (Shared-path protection) 倒换操作流程与专门路径保护方法基本一致, 但由于预先确定的备用路径没有分配专门的波长信道, 因此, 就有可能与其它备用路径共享资源, 这要求目的节点在返回“确认”消息的同时还必须配置并测试该路径沿途经历的 OXC, 在这些步骤完成之后才能真正给备用路径分配波长信道资源, 完成共享路径保护倒换操作流程所必须的时间 T_{s_path} 定义为:

$$T_{s_path} = T_{detect} + T_{defer} + T_{setup} + T_{confirm} \quad (2)$$

式中: T_{detect} 、 T_{defer} 同前; $T_{setup} = P_{x2} + D_{y2}$; $T_{confirm} =$

$$\left[\begin{matrix} P_{x2} + D_{y2} + C_{y2} \\ L_{x2} \ L_B \ N_{y2} \ N_B \end{matrix} \right].$$

(3) 共享链路保护 (Shared-link protection)

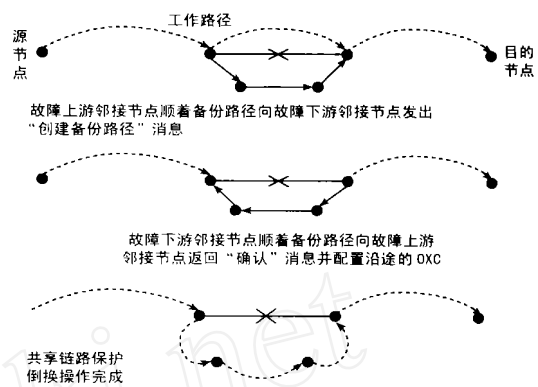


图 2 共享链路保护倒换操作流程

图 2 给出了共享链路保护方法的倒换操作流程, 它的保护倒换时间 T_{s_link} 定义为:

$$T_{s_link} = T_{detect} + T_{setup} + T_{confirm} \quad (3)$$

式中: $T_{detect} = F$; $T_{setup} = P_x + D_y$; $T_{confirm} = \left[\begin{matrix} P_x + D_y \\ L_x \ L_B \ N_y \ N_B \end{matrix} \right] + C_y$

式(1)、(2)和(3)的各组成项分别表示执行不同保护动作所需时间开销, 其中: T_{detect} 为用于故障检测开销时间; T_{defer} 为保护过程启动延迟时间, 即: 故障上游邻接节点向原工作路径的源节点传输“网络故障”指示消息所开销的时间; $T_{startup}$ 为保护过程启动时间, 即备用路径源节点向目的节点发出“启动”消息再加上对方返回“确认”消息所需要的时间; T_{setup} 为保护过程启动准备时间, 即备用路径源节点向目的节点发出“启动”消息以通知备用路径经过的节点准备执行 OXC 配置动作所需要的时间; $T_{confirm}$ 为保护过程启动时间, 即备用路径目的节点向源节点返回“确认”消息并通知沿途 OXC 节点执行交叉连接配置动作所消耗的时间; 为多个 OXC 节点执行倒换操作的重叠因子, 它表示节点间并行执行交叉连接设置的重叠程度, 其中 $0 < 1$ 。

3 保护倒换时间优化策略

3.1 受制因素

通过上述三种基于 WDM 网络保护方法的 PST 计算模型分析, 我们发现影响 PST 大小的关键因素集中在以下四个方面。

(1) 消息交互数目

网络保护过程所使用的消息是指为顺利完成业务连接的保护倒换操作而在相关节点间传递的必须控制信息。任何消息的传递路径都必须跨越一系列串接的光节点和光纤链路, 从而导致保护过程的完成需要更多的时间。因此, 业界在制定保护倒换协议时, 必须要考虑如何有效地减少消息交互数目以缩短总体保护倒换时间。

(2) 消息传递距离

节点之间的消息传递距离可以用该消息所经历的网络跳

段(hop)数目来衡量,每经历一个跳段,消息的传播延迟就相应地获得一个正向增量,因此,如果消息传递路径跨越的跳段数目越多则导致相应的端端消息传播延迟就越大,反之其延迟就越小.

(3) OXC 倒换设置时间

OXC 节点的保护开关倒换设置时间完全依赖于物理设备的光器件控制技术,即 OXC 节点本身决定了用于倒换操作所需要的开关设置时间,任何优良的网络规划和设计都不可能改变它的大小.显然,不同种类的 OXC 设备提供的保护开关倒换设置时间存在一定的差异,而该差异直接对应于设备的成本造价.一般而言,OXC 节点保护倒换时间的大小选择并没有固定的标准,它往往根据实际网络的生存要求而灵活选取.

(4) 重叠因子

重叠因子决定了多个 OXC 节点执行保护开关倒换动作的并发执行程度,它可以缩短保护倒换的总时间,但不可能缩小单个 OXC 节点执行保护倒换操作需要的消耗时间.当重叠因子取两个边端数值时,预测网络保护倒换时间变得较为简单, $\alpha = 1$ 表示完全并行,启动备用路径需要的 OXC 节点保护开关倒换时间等于单个 OXC 节点的倒换时间; $\alpha = 0$ 则表示没有任何并行处理能力,此时启动备用路径必须的 OXC 节点保护开关倒换时间等于单个 OXC 节点的倒换时间与 OXC 节点个数的乘积.

3.2 优化途径

PST 计算模型及其大小受制因素给网络设计和规划提供了优化 PST 的理论依据,针对影响 PST 大小的四个因素,我们可以从以下方面来优化工作路径的 PST,具体的解决方案和措施包括:

(1) 设计简捷易行的网络保护倒换协议以减少消息交互数目;

(2) 在不增加网络冗余容量的前提下尽量使用最短路由算法确定工作路径和备用路径所选择的路由,从而可以最大限度地减少传递控制消息所跨越的光节点个数;

(3) 设计合理的消息处理算法尽可能地提高备用路径执行 OXC 节点倒换设置操作的重叠(并行)程度;

(4) 若网络规划资金许可,则可以考虑保护开关倒换设置时间较小的 OXC 节点设备.

最后需要指明的是相同的优化措施对于不同保护方法的 PST 大小影响也不尽相同,例如若以 OXC 保护开关倒换设置时间(假设其数值大小为 c) 作为优化措施,则按照本文前面提出的三种 PST 计算模型所得到的平均 PST(记作 \bar{PST}) 的大小序列应该是^[6]:

(1) 若 $c < 10\mu\text{s}$,由于节点的 OXC 配置时间影响较小,则关系 $PST_{S-link} < PST_{D-path} < PST_{S-path}$ 成立;

(2) 若 $c > 500\mu\text{s}$,由于协议消息的传输处理时间影响较小,则关系 $PST_{D-path} < PST_{S-link} < PST_{S-path}$ 成立;

(3) 在 c 的其它取值条件下,保护协议消息的传输处理时间与节点的 OXC 配置时间同时对 PST 起着重要影响,这使得准确排列出不同保护方法的 PST 大小序列较为困难.

4 总结

本文重点描述了专门路径保护、共享路径保护以及共享链路保护的倒换时间计算模型及影响 PST 的主要因素,并在此基础上提出了相应的优化策略和解决方案,这些结果对于我们选择 WDM 网络的保护方法有着重要的指导意义和参考价值.

参考文献:

- [1] Ornan Cerstel, R Ramaswami. Optical layer survivability: A services perspective [J]. IEEE Commun. Mag., 2000, 38(3): 104 - 113.
- [2] G Mhan, C Siva Ram Murthy. Lightpath restoration in WDM optical networks [J]. IEEE Network, 2000, 14(11): 24 - 32.
- [3] Dongyun Zhou, Suresh Subramaniam. Survivability in optical networks [J]. IEEE Network, 2000, 14(11): 16 - 23.
- [4] Bharat T Doshi Subrahmanyam Dravida. Optical network design and restoration [J]. Bell Labs Tech. J., 1999, 4(1): 58 - 84.
- [5] 林绵锋, 刘雪原等. WDM 环形网络保护时间评估与优化分析 [J]. 光子学报, 2000, 29(7): 626 - 632.
- [6] S Ramamurthy, B Mukherjee. Survivable WDM mesh networks, Part — Restoration [A]. Proc. ICC '99 [C]. USA: ICC, 1999. 2023 - 2030.

作者简介:



王志文 男, 1973 年出生于湖南祁阳, 1994 年毕业于西安交通大学, 获学士学位, 1997 年在西安交大获硕士学位, 目前正在攻读西安交通大学计算机系博士学位; 主要从事网络管理、高性能计算机互联网络以及全光通信网络应用方面研究 (E-mail: wzw.computer@263.net).