

光传送网络的保护时间下限模型

林绵峰, 方来付, 程晓飞, 张 杰, 顾晓仪
(北京邮电大学光通信中心128信箱, 北京 100876)

摘 要: 本文首先分析了光传送网络业务在故障情况下的保护操作过程, 并据此创建了光网络保护/倒换时间的下限模型. 仿真结果表明, 网络业务的保护时间与保护倒换协议有重要关系, 而光开关的动作时间对保护倒换时间的影响与网络规模没有关系.

关键词: 光传送网络; 保护倒换; 保护时间

中图分类号: TN929.18 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2002)08-1126-04

One Lower Limit Protection Time Model for Optical Transport Networks

LIN Mian feng, FANG Lai fu, CHEN Xiao fei, ZHANG Jie, GU Wanyi
(Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box. 128, Beijing 100876, China)

Abstract: Based on the analysis on protection process protecting optical transport network in the condition of failure, one lower limit model for evaluating the protection and switching time is shown and validated. The emulation result shows that the protection time severely depends on protection and switching protocol, and the effect of the switch time of optical switches on protection time is independent on network size.

Key words: optical transport network; protection and switch; protection time

1 引言

网络在故障之后的业务恢复时间是保护系统设计的重要指标, 该时间直接反映了网络故障对业务的影响程度. 使用不同的保护方式, 对不同的网络故障条件, 业务的保护时间有重要的不同. ITU-T G. 841 建议规定, 节点数量小于 16 个, 光纤长度小于 1200km, 处于空闲状态且不承载额外业务的环形网络的倒换执行时间应该小于 50ms. 也有文献提出, 如果包括故障的确定时间, 则倒换时间应该小于 60ms^[1]. 通常保护倒换时间指的是从倒换信令发布到倒换动作完成的时间间隔, 这是因为故障的检测、确认时间与故障的类型、检测方法以及网络拓扑结构、网络单元设备结构和功能等因素紧密相关, 很难用一个固定的时间来衡量和涵盖所有不同情况^[2-5].

文献[6]建立了 WDM 网络中的保护和恢复方案的保护执行时间模型, 并对各种保护方案的执行时间进行了评估. 文章作者认为, 光通道的交叉连接配置时间对保护倒换的恢复时间有重要影响, 这与文献[7]的结论是吻合的. 文献[6]建立的模型考虑了告警检测和传输时间(对通道保护)、保护信令处理时间、交叉配置时间以及保护通道长度等因素对保护执行时间的影响, 而且假设所有保护相关动作是顺序发生的, 即告警检测/通知→保护信令起源→信令处理→保护配置(交叉连接开关动作)→下一个节点相关处理, 各阶段处理时间不重

叠. 在实际系统中, 保护相关操作通常不会顺序执行, 文献[6]中简单的时间叠加模型可能高估保护操作所需要的时间. 而且, 由于节点资源使用情况和工作状态不同, 不同节点的信令处理时间和保护配置时间可能是不同的, 因此要准确估计保护执行时间是一个困难的任务. 下面对文献[5, 6]的保护时间模型加以改进, 建立了一个更精确的解析模型来估计 WDM 光传送网络的保护执行时间.

2 倒换时间推导

网络的有效保护依赖于网络节点对准确掌握网络状态的充分信息. 网络的状态信息由业务保护/恢复协议携带和传输, 在这些信息到达保护实体终端节点之前, 中间的网络节点要予以处理和转发, 如果中间节点还是保护通道的构成节点, 则还要进行必要的资源配置操作以支持网络业务的保护/恢复操作. 在下面的讨论中, 设网络容量可以按需请求和配置.

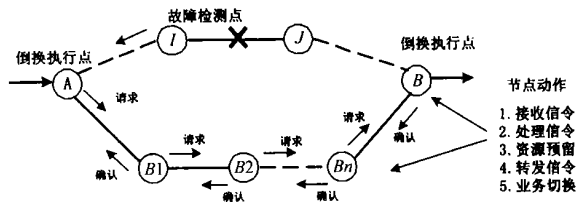
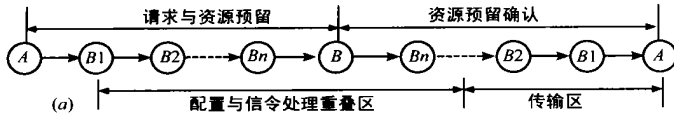


图 1 保护执行过程示意图

不管对线路还是通道,不管是保护还是恢复,都可以不失一般性地假设它们是在一个环路上实施的,称该环路为保护环路。为简单起见,设环路各区段光纤长度相同,信号的传输特性一样。业务的保护过程如图 1 所示,执行过程如下:检测到网络故障后,通知业务保护的执行点(称为尾端),尾端发送保护请求信令,保护通道的中间节点处理和转发接收到的信令,同时预留指定的保护资源。最终信令到达另一个业务保护执行节点(称首端),首端回复一个确认信令来确定资源的可用状态。确认信令回到尾端节点后,执行业务的切换操作完成业务的恢复。图中,节点动作 5 只在倒换执行点执行。

先定义以下变量: N :环路节点数量,即区段数量; T_C :保护信道的配置时间; T_D :故障的检测时间和通知时间; T_p :区段的信令传输时间; T_{end} 、 T_{in} :分别为倒换节点和中间节点的信令处理时间; T_{pass} :保护通道中间节点的交叉连接配置时间; T_{sw} :倒换执行节点的倒换开关动作时间; T_{osw} :单位光开关的执行时间; C_p :交叉连接配置涉及的光开关数量; H_p 、 H_b :分别表示主用和备用路由的跳数。在环路中, $H_p + H_b = N$; H_a^s 、 H_a^d 故障点到倒换执行首节点和尾节点的跳数。一般 $H_a^s + H_a^d \leq H_p$

如果包括故障检测和通知时间,网络的保护时间可以表示为



$$T = T_D + T_p \cdot \min(H_a^s, H_a^d) + T_C \quad (1)$$

$$T_C = \alpha(H_b, T_p, T_{end}, T_{in}, T_{sw}, T_{pass}) \quad (2)$$

$$T_{pass} = \beta(C_p, T_{osw}) \quad (3)$$

其中,保护通道完成配置的时间 T_C 与光纤区段信令传输时间、节点配置时间、区段数量以及信令的处理时间等因素相关。另外,从式(3)还可以发现,节点的交叉连接配置时间与涉及的光开关数量相关,光开关的控制与操作方式也会影响网络保护时间。

网络保护倒换协议有两种执行方式:单向和双向。对于单向操作方式,由一个倒换节点起源倒换信令,其它节点依次处理;而在双向操作方式中,两个倒换节点同时或先后起源倒换信令。在倒换的执行过程中,信令处理与保护通道配置时间的重叠是影响保护时间的重要因素。图 2(a)、(b) 分别是信令的单向和双向处理方式示意图。

如图 2 所示,重叠区的准确估计是保护时间计算的关键。在下面的推导过程中,假设保护通道是一个跳数为 H 的光通道,其端节点不作资源预留操作。对单向信令情况,如果一个节点的资源预留时间(即 T_{pass})大于信令在一个区段的传输与一个节点的处理时间之和(即 $T_{pass} > T_p + T_{in}$),则光通道的信令处理和资源预留时间可以表示为

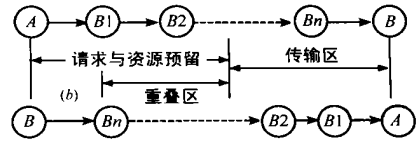


图 2 保护执行时间计算示意图。(a) 单向信令处理过程;(b) 双向信令处理过程。

$$T_{lightpath} = T_{end} + (H - 1) \cdot (T_p + T_{in}) + \max(T_p + T_{end}, T_{pass}) \quad (3a)$$

如果 $T_{pass} \leq T_p + T_{in}$, 则有

$$T_{lightpath} = T_{end} + (H - 1) \cdot (T_p + T_{in}) + \max(T_p + T_{end}, T_{pass}) \quad (3b)$$

即

$$T_{lightpath} = \begin{cases} T_{end} + (H - 1) \cdot (T_p + T_{in}) + T_{pass}, & T_{pass} \geq T_p + T_{end} \\ T_{end} + H \cdot (T_p + T_{in}) + (T_{end} - T_{in}), & T_{pass} < T_p + T_{end} \end{cases} \quad (3c)$$

对于双向信令处理情况,如果中间节点处理信令时不直通反向信令通道,执行时间与单向信令情况相等。否则信令会合点之后的信令将直接传输过同向的其它后续节点,这些节点同时监测信令,并执行相应操作。此时有

$$T_{lightpath} = T_{end} + H_1 \cdot (T_p + T_{in}) + \max(H_1 \cdot T_p + T_{end}, T_{pass}) \quad (4)$$

$$= \begin{cases} T_{end} + H_1 \cdot (T_p + T_{in}) + T_{pass}, & T_{pass} \geq H_1 \cdot T_p + T_{end} \\ 2T_{end} + 2H_1 \cdot T_p + H_1 \cdot T_{in}, & T_{pass} < H_1 \cdot T_p + T_{end} \end{cases}$$

其中 $H_1 + H_2 = H$, H_1 是两个倒换执行点信令相遇前经过的跳数。不失一般性地假设 $H_1 \geq H_2$, $H = H_b$ 。另设故障通知信号到达倒换执行点的时间差为 Δt , 如果 $\Delta t = 0$, 则

$$H_1 = \lceil \frac{H-1}{2} \rceil \quad H_2 = H - H_1 \quad (4a)$$

否则

$$H_1 = H_{pre} + \lceil \frac{H - H_{pre} + 1}{2} \rceil \quad H_2 = H - H_1 \quad (4b)$$

其中 H_{pre} 是时间差 Δt 导致的信令处理不重叠的跳数, 即

$$H_{pre} = \lfloor \frac{\lceil \frac{1}{\Delta t} \rceil}{T_p + T_{in}} \rfloor = \lfloor \frac{\lceil \frac{H_a^s - H_a^d}{T_p + T_{in}} \rceil}{T_p + T_{in}} \rfloor \quad (5)$$

式(5)可以用来说明保护过程中信令的传输、处理和保护容量的配置过程所需要的时间。虽然讨论的对象是光通道,对线路保护同样适用。对于保护容量预留的系统,两个端节点可以同时启动保护协议。考虑到端节点的倒换执行时间,则有(不包括故障检测和通知时间):

$$T_C = \begin{cases} T_{end} + H_1 \cdot (T_p + T_{in}) + T_{pass}, & T_{pass} \geq H_1 \cdot T_p + T_{end} + T_{sw} \\ 2T_{end} + 2H_1 \cdot T_p + H_1 \cdot T_{in} + T_{sw}, & T_{pass} < H_1 \cdot T_p + T_{end} + T_{sw} \end{cases} \quad (6)$$

式中 H_1, H_2 参看式(5)的有关说明。

线路保护无需告警通知,可以认为 $\Delta t = 0$ 且 $H_b = N - 1$ 。

对于通道 1+1 式保护,由于无需信令和资源配置,则 $T_C = T_{sw}$;

对于通道专用保护,由于 $T_{pass} = 0$, 则 $T_C = 2T_{end} + 2H_1 \cdot T_p + H_1 \cdot T_{in} + T_{sw}$;

对于格形网络的恢复,在确定故障类型和位置后,一般先用请求恢复信令预留容量,然后用确认恢复信令来配置容量和协调端节点的业务切换^[6]。为了避免协议的复杂性,一般使用单向信令处理方法实施信令处理和资源预留操作。此时,保

护时间可以表示为

$$T_C = T_{req} + T_{confirm} = T_{end} + (H_b - 1) \cdot (T_p + T_{im}) + T_p + T_{end} + (H_b - 1) \cdot T_p + \max(T_{pass}, T_p + T_{end} + T_{sw}) \quad (7)$$

$$T_C = \begin{cases} 2T_{end} + (2H_b - 1) \cdot T_p + (H_b - 1) \cdot T_{im} + T_{pass}, & T_{pass} \geq T_p + T_{end} + T_{sw} \\ 3T_{end} + 2H_b \cdot T_p + (H_b - 1) \cdot T_{im} + T_{sw}, & T_{pass} < T_p + T_{end} + T_{sw} \end{cases}$$

从上面的推导过程可以发现, 网络的保护倒换时间与保护协议紧密相关. 对于不同的业务保护/恢复方案, 节点的信令处理和保护操作各有差异, 保护执行时间的表达式也会各不相同. 对实际网络, 如果以最小的区段长度作为保护环路的区段长度, 且假设在式(6-7)给出了保护环路的最小保护时间. 值得注意的是, 如果在保护信令传输和处理过程中, 同时进行保护配置, 这时光开关的动作时间对网络保护时间的贡献与网络规模无关. 如式(6-7)所示, 这与以前有关文献的结果是不同的. 因此也可以依据以上策略来优化设计网络的保护协议, 降低网络的保护倒换时间.

3 倒换时间分析

对于一种保护协议(如 APS 协议), 中间节点和倒换执行端点的执行方法略有不同, 但相差不大. 设光网络单元控制器使用平均指令周期为 1 的微处理器, 端节点(倒换执行点)信令处理时间为 4ms, 中间节点(直通节点)为 3ms; 节点间距为 80km, 对应信令传输时间 400μs. 另设节点的保护资源配置与倒换节点的倒换执行时间相同, 均为 T_{sw} . 图 3 是根据公式(6-7)计算得到的环路保护和恢复时间与节点数量的关系(不包括故障检测与通知时间).

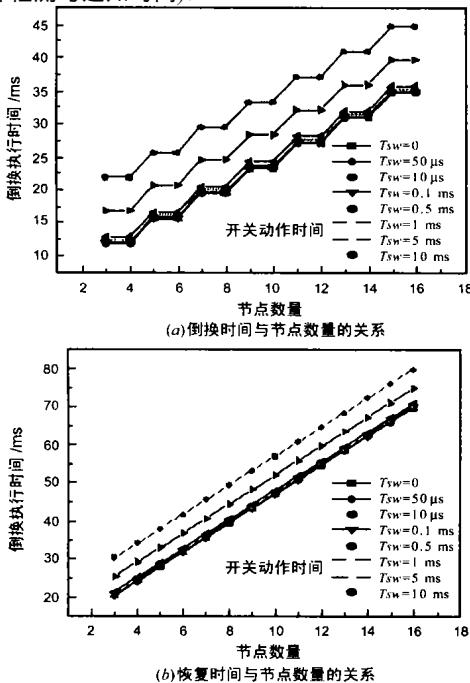


图 3 业务保护时间与节点数量的关系

从图 3 可以发现, 不管是预配置保护机制还是预留业务的恢复机制, 保护执行时间随节点数量增加而线性增加. 另外, 在光开关动作时间远小于节点信令处理时间时, 保护执行时间受光开关动作时间影响基本可以忽略. 但在光开关动作时间与节点信令处理时间可以比拟时, 光开关动作时间对保护执行时间有重大影响. 另外, 使用通道或线路共享保护方式, 16 个节点、光纤总长度为 1300km (16×80 km) 环路的保护倒换时间可以小于 50ms (44.6ms), 但恢复时间较长. 以上结果与文献[8]、[9]的有关结果吻合.

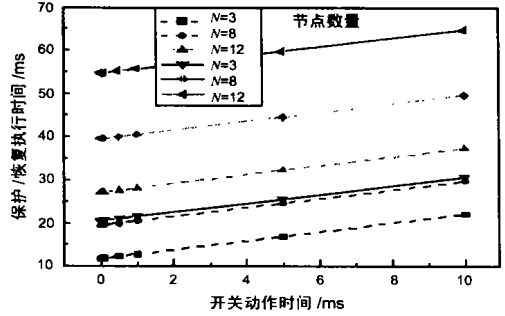


图 4 保护执行时间与开关动作时间的关系

图 4 是保护执行时间与开关动作时间的关系, 图中虚线为保护倒换用时间, 实线为恢复操作时间. 从图中可以发现, 业务保护执行时间与开关执行时间也是呈线性关系的, 但这种线性关系与节点数量无关, 公式(6-7)也说明了这点. 从图 4 还可以发现, 恢复时间随节点数量的增长要比保护时间的快, 这是因为保护倒换使用了双向操作方式, 而恢复用单向操作方式.

4 结论

本文对影响光传送网络的保护倒换时间的因素进行了分析和研究, 得到了一个解析的保护时间下限模型. 仿真结果表明, 网络业务在故障条件下的恢复时间与使用的保护倒换协议操作方式有重要关系, 而光开关的动作时间对保护倒换时间的影响与网络规模无关. 另外, 使用优化的保护倒换协议, 由 16 个节点构成的小规模光传送网络的保护时间可以控制在 50ms 以内.

参考文献:

[1] M Medard, S G Finn, et al. Redundant trees for preplanned recovery in arbitrary vertex redundant or edge redundant graphs [J]. IEEE/ACM Trans On Networking, 1999, 7(5): 641- 651.

[2] A T Bouloutas, S Calo, A Finkel. Alarm correlation and fault identification in communication networks [J]. IEEE Trans On Commun., 1994, 42(2 3 4): 523- 533.

[3] G Jakobson, M D Weissman. Alarm correlation [J]. IEEE Network, 1993, (9): 52- 59.

[4] A Reddy, D Estrin, R Govindan. Large scale fault isolation [J]. IEEE J of Selected Areas in Commun., 2000, 18(5): 733- 742.

[5] C Mas, P Thiran. An Efficient Algorithm for locating soft and hard failures in WDM networks [J]. IEEE J of Selected Areas in Commun.,

2000, 18(10): 1900– 1911.

- [6] S Ramamurthy, B Mukherjee. Survivable WDM mesh networks, Part 1F Restoration [A]. Proc. ICC' 99 [C]. Vancouver, Canada: 1999: 2023– 2030.
- [7] 林绵峰, 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, 27(7): 626– 632.
- [8] C X Shi, L P Chen, et al. Optical layer protection of ATM traffics using a novel 4 fiber WDM ring with an ability to carry extra traffic [A]. OFC' 2000 [C]. Baltimore, Maryland, USA: Paper FE3.
- [9] G Bendelli, et al. OMS protection scheme implementation in the PEGASO OTN testbed [A] OFC' 2000 [C]. Baltimore, Maryland, USA: Paper FE2.

方来付 男, 1972 年 9 月出生于河南省林州市, 北京邮电大学工学博士, 主要研究方向为光网络节点设备和组网.

程晓飞 男, 1974 年 7 月出生于江西省庐山市, 博士研究生, 主要研究方向为光网络, 包括性能分析, 系统和网络模拟软件等.

张 杰 男, 1972 年 6 月出生于河南省开封市, 北京邮电大学副教授, 主要研究方向为光网络及光组网.

顾晓仪 女, 北京邮电大学博士生导师, 主要研究方向为智能光网络, 超长超大容量光网络研究等.

作者简介:



林绵峰 男, 1972 年 11 月生于江西省会昌县, 北京邮电大学工学博士, 主要研究方向为光网络与光组网, 以及光网络的路由算法和流量工程问题, 并对通信网络的规划和管理有浓厚兴趣.