

WDM 光网络故障的快速共享恢复方案

贺辉 范戈

(上海交通大学 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200030)

摘要 在网络恢复仿真实验中发现当 WDM 光网络中的工作通路的链路数目为 2 或 3 时, 通路恢复资源能得到较大程度的共享. 在此基础之上, 提出了一种新的 WDM 光网络故障的恢复方案—分段共享恢复方案(SSR). 与现有的基于通路共享恢复方案(PSR)相比, SSR 的恢复时间大大下降, 同时又基本上保持了 PSR 高效的资源利用率. 阐述了 SSR 的分段规则和实现过程, 并对 SSR 的性能进行了理论分析和计算机仿真.

关键词 WDM 网络; 共享恢复; 分段共享

中图分类号 TN915 **文献标识码** A

0 引言

国内外对于网络生存性技术问题有众多研究^[1-6], 其中基于通路的共享恢复(PSR, path based shared restoration), 在资源利用率方面有优势但需要较长的恢复时间, 特别是对于多节点长距离的主干 WDM 网络, 恢复时间常常超过需求底限. 为此, 本文提出一种新的基于通路的共享恢复方案——分段共享恢复方案(SSR, segmented shared restoration), 它具有接近 PSR 的资源利用率, 同时又大大节省了故障恢复时间. 为了便于分析, 本文只考虑单链路失效的问题, 且不失一般性的认为网络中各节点之间有两条方向相反的单向链路.

1 方案描述

1.1 SSR 的设计思路

本文所提出的这种 SSR 方案的核心思想是“化整为零”的恢复, 即改变原有的从源到宿端到端的恢复. 我们将从源到宿包含链路数较多的工作通路分割成 m 段子通路, 并为每一段子通路提供各自的备用通路.

如图 1, 图中 S_0 至 S_n 是为一个业务需求而建立的工作通路, PSR 方案中所采用的备用通路为 B , 而 SSR 方案是将工作通路按一定划分规则分成 $P_1, P_2 \dots P_m$ 共 m 段(为了便于研究, 本文设定每段链路长度一致), 然后为每段子通路找出各自的备用通路 $B_1, B_2 \dots B_m$. 当网络处于正常工作状态时, 从 S_0 至 S_n 的业务经工作通路传输, 若工作通路出现故障, 则启动备用通路, 若故障出现在 P_i 段内, 则用 B_i 替换 P_i , 使 B_i 和其它正常的工作子通路构成业务传

输的光路, 从而实现了故障的恢复.

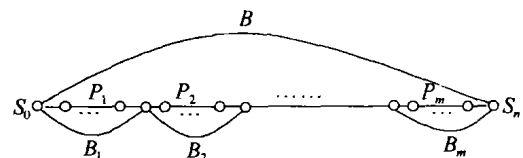


图 1 SSR 与 PSR 方案的比较

Fig. 1 Comparison of SSR and PSR

1.2 SSR 分段的规则

如何对工作通路进行分段是 SSR 的关键所在, 不同的分段规则必然会使 SSR 具有不同的故障恢复性能. 恢复时间和所占用的网络资源是评价恢复方案的两个主要指标. 因此, SSR 的分段规则应使 SSR 在恢复时间和所占用的网络资源二方面的综合性能得到优化. 本文分别以包含不同的链路数目的工作通路作为保护对象, 随机地从两个实验网络中取出 6 组网络业务对其出现故障的恢复情况进行了计算机仿真, 所选用的网络 1 为中国网^[7], 网络 2 是文献[8]中所采用的实验网络, 网络业务的选取方式如表 1. 本文以平均保护一条链路所需的网络资源和平均一条链路出故障后的恢复时间来衡量故障的恢复性能, 其中平均保护一条链路所需的网络资源为每组网络业务所需要的网络资源总量与总链路数的比值, 平均一条链路出故障后的恢复时间为每组工作通路总的恢复时间与工作通路数目的比值. 实验结果如图 2 和图 3.

表 1 实验网络的业务选取

组	工作通路数目	每条工作通路的链路数目	一组工作通路的总链路数目
1	100	6	600
2	120	5	600
3	150	4	600
4	200	3	600
5	300	2	600
6	600	1	600

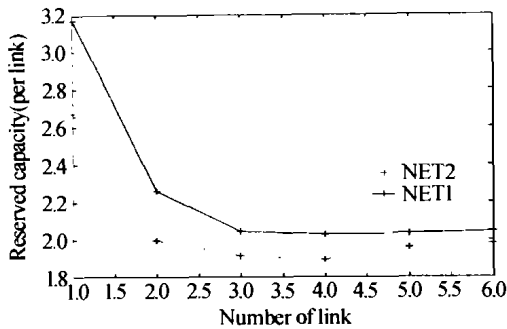


图2 平均保护一条链路所需的网络资源

Fig. 2 Average of reserved resource per link

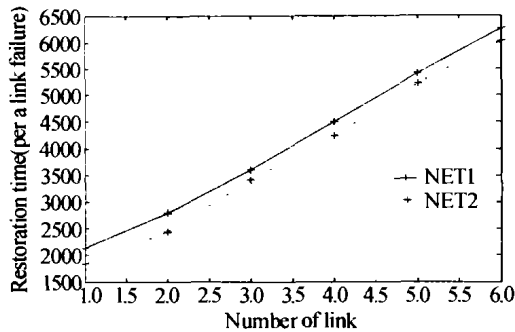


图3 平均一条链路出故障后的恢复时间

Fig. 3 Average of restoration time per link

从图2我们可以看到,当工作通路所包含的链路数目从1增至2和3时,平均保护一条链路所需的网络资源有较大幅度的下降,而当工作通路所包含的链路数目增加到4、5和6时,平均保护一条链路所需的网络资源已变化不大,所需容量大体相同;另一方面,从图3我们可以清楚地看到,工作通路所包含的链路数目与平均每条链路出故障后的恢复时间大体上呈线性关系.随着工作通路所包含的链路数目的增加,平均每条链路出故障后的恢复时间也成比例增加.综合以上两点,我们可以判断出当工作通路所包含的链路数目为2或3时,网络出故障后的恢复性能可以在恢复时间和资源占用率两方面得到较好的兼顾.

基于以上仿真分析的结果,我们提出的分段方法是将一条包含链路数目较多的工作通路分成若干个链路数目为2或3的工作子通路.我们设定工作通路所包含的链路数目为 NL ,由2个链路构成的工作子通路的数目为 X ,由3个链路构成的工作子通路的数目为 Y .则SSR的分段规则为

如果 $NL < 3$,以原有工作通路为保护对象.

如果 $NL > 3$,则将原有工作通路分为 m 段子通路

$$2X + 3Y = NL; X + Y = m; (X, Y \in Z) \quad (1)$$

2 SSR 的实施过程

SSR的具体实施过程大体上可以分为如下五个步骤:

1) 当一个业务需求到达时,为其从网络拓扑中利用Dijkstra最短路算法寻找一条端到端工作通路.

2) 按SSR的分段规则进行处理.

3) 为每段子工作通路利用Breadth first protection算法^[9]寻找各自相应的备用通路,利用Breadth first protection算法也实现了备用路由与工作通路互不共用链路的限制.

4) 给工作通路中的各链路分配未使用的波长资源,完成工作光路的建立.

5) 给各段备用通路分配波长.各段备用通路的每条链路在分配波长时,应首先判断当前需要建立的备用光路 L_S 能否与其它备用光路共享波长,具体做法是检查该链路是否已分配有用于其它的备用光路 L_P 的波长资源 λ_P ,若 λ_P 存在且 L_S 与 L_P 所对应保护的工作通路之间没有共用链路,则 L_S 和 L_P 可以共享波长 λ_P ,否则就为 L_S 分配新的波长.

3 SSR 中所需网络资源分析

我们设定一个有 N 个节点和 L 条边的网络拓扑 $G(N, L)$, W 是SSR方案所使用的资源总量,工作通路所占用的网络资源为 W_w (我们以每条链路中的一个波长为最小度量单位),备用通路所占用的网络资源为 W_p , λ_{wi} 表示在第 i 条链路上工作波长的个数, λ_{pi} 表示在第 i 条链路上备用波长的个数,以 L_{wi} 和 L_{pi} 来标识链路 i 上是否有工作通路或是备用通路经过,当有工作通路经过链路 i 时 L_{wi} 取1,否则取0,当有备用通路经过链路 i 时 L_{pi} 取1,否则取0, λ_{wipi} 表示在 i 条链路上用于为第 j 个工作通路作备用波长的数目.

网络资源使用总量

$$W = W_w + W_p \quad (2)$$

其中

$$W_w = \sum_{i=1}^{N \times N - 1} (\lambda_{wi} \times L_{wi}) \quad (3)$$

$$W_p = \sum_{i=1}^{N \times N - 1} (\lambda_{pi} \times L_{pi}) \quad (4)$$

而

$$\lambda_{pi} = \text{MAX}(\lambda_{wipi}) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{N \times N - 1} \sum_j (\lambda_{wipi} \times L_{pi}) = W_w \quad (6)$$

式(3)和式(4)分别给出了工作通路占用的网络总资源和备用通路占用的网络总资源,式(5)表示每条链路上分配的波长数目取决于该链路上各共享备用通路中所需波长数目的最大值,式(6)表示备用通路所提供的保护网络业务的总量等于工作业务的总量,即备用通路为工作通路提供了完全保护.

4 SSR 中故障恢复性能的仿真

SSR 方案的网络故障恢复过程中采用的是 two-phase process 方法^[2]. 如图 4, 当链路在 A 点出现故障后, 与 A 点相邻的节点 B 探测到链路的故障 (通常是利用光信号的有无来进行检测的), B 节点把故障信息向相邻节点进行广播, 当工作通路的终点, 即 D 节点收到故障信息后, 沿备用通路向源节点 S 节点发送启动信号. 在启动信号传输的同时, 沿途的节点完成了光交换设备的路由配置, 当 S 节点收到启动信号, 并完成路由配置之后, 网络业务就可以开始沿备用通路向 D 节点传送. 网络故障的恢复时间是指从故障出现到新的光路启用这段时间, 在上例中就是从 A 节点出现故障到 S 节点完成路由配置这段时间. 在仿真实验中, 我们假设每段链路长 100 公里, 因此 $TL = 500 \mu s$; 假设每个节点的处理器频率为 GHz, 需要处理的错误信息为 10000 条指令, 则 $TP = 10 \mu s$; 假设 $T_R = 100 \mu s$.

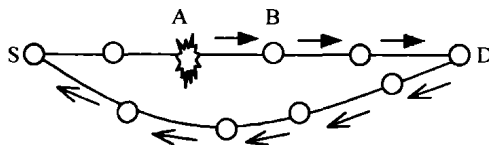


图 4 网络故障恢复过程
Fig. 4 Process of restoration

下文沿用上文中的两个实验网络. 利用这两个网络分别随机生成了 600 个依次到达的端到端的网络业务. 包含不同链路数目的工作通路的分布情况如图 5.

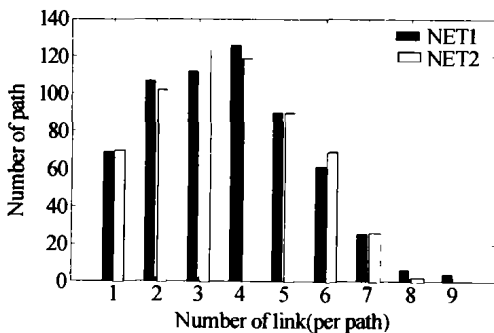


图 5 仿真实验中不同链路长度的工作通路的分布情况
Fig. 5 Distribution of work path with different number of link in simulation

为了说明 SSR 的恢复性能, 我们将 SSR 方案与端到端的 PSR 方案做一对比, 这二方案在网络资源占用和恢复时间二方面的对比情况如表 2.

表 2 PSR 与 SSR 恢复性能的对比

NET1		NET2	
网络资源	恢复时间	网络资源	恢复时间
SSR	5224	SSR	4704
PSR	1827800	PSR	1685660
SSR	4739	SSR	4331
PSR	2523615	PSR	2364750

从 Net1 和 Net2 的仿真结果可以看出, SSR 方案的恢复时间比 PSR 分别减少了 27.6% 和 28.7%, 相应的所需的网络资源分别只增加了 10.02% 和 8.61%. SSR 方案以较小的增加网络资源为代价较大程度地减少了故障的恢复时间.

5 总结

本文以实验数据分析为基础, 并结合分析的结果针对光网络的故障恢复提出了一种分段共享恢复方案 (SSR). SSR 与现有的 PSR 相比, 其恢复时间大大下降, 同时又基本上保持了 PSR 高效的资源利用率. 此外, 随着工作通路所包含的链路数目的增加和网络密集程度的增大, 链路共享的机会将会增大, SSR 方案还可以进一步提高其恢复性能.

参考文献

- 1 Irachko R R, MacGregor M H, Grover W D. Optimal capacity placement for path restoration in mesh survivable networks. *IEEE International Conference on Communications (ICC'96)*, 1996, 1568 ~ 1574
- 2 Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable WDM mesh networks. II. Restoration. *IEEE International Conference on Communications (ICC'99)*, 1999, 2023 ~ 2030
- 3 Kodialam M, Lakshman T V. Dynamic routing of bandwidth guaranteed tunnels with restoration. *INFOCOM'00*, 2000, 902 ~ 911
- 4 赵继军, 纪越峰, 徐大雄. IP/GMPLS/Optical 多层网络生存性机制的协调. *光子学报*, 2003, 32(7): 803 ~ 806
Zhao J J, Ji Y F, Xu D X. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(7): 803 ~ 806
- 5 雷蕾, 赵继军, 纪越峰. IP over WDM 网络中可恢复的路由选择策略与算法. *光子学报*, 2004, 33(2): 174 ~ 78
Lei L, Zhao J J, Ji Y F. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(2): 174 ~ 78
- 6 He Jianwu, Mei Jie, Gu Wanyi, et al. A novel distributed restoration method in intelligent optical networks. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(12): 1464 ~ 1469
- 7 霍晓莉, 李艳和, 戴无惧, 等. 基于遗传算法的 WDM 光传送网恢复优化算法. *电子学报*, 2002, 30(4): 515 ~ 518
Huo X L, Li Y H, Dai W J. et al. *Acta Electronica Scinica*, 2002, 30(4): 515 ~ 518
- 8 Dunn D A, Grover W D, MacGregor M H. Comparison of k-shortest paths and maximum flow routing for network facility restoration. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 12(1): 88 ~ 99
- 9 Ruan Lu, Luo Haibo. A fast lightpath restoration method using two backup paths in WDM networks. *Proceedings of International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'02)*, 2002, 183 ~ 189

Parted Shared Restoration Scheme for WDM Networks

He Hui, Fan Ge

*National Laboratory on Local Fiber-Optic Communication Networks & Advanced Optical Communication System,
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030*

Received date: 2003-12-22

Abstract The path restoration can share more capacity if the number of links of work path is 2 or 3 was found through simulation. Based on this result, a novel restoration scheme-segmented shared restoration (SSR) was proposed. The end-to-end work path is divided into several segments and each segment is provided backup path. Restoration time gets sharp drop at the cost of a litter increase of utilization of capacity in SSR. Partition rule and realization of SSR is explained. Through theoretical analysis and computer simulation the performance of SSR was demonstrated.

Keywords WDM networks; Shared restoration; Parted shared restoration



He Hui obtained his B. S degree in industrial automation from Hebei University of Technology in 1999, and M. S degree in Optics from Nanjing University of Science and Technology in 2002. He is currently pursuing his Ph. D. in the electronic engineering Department of Shanghai Jiao Tong University. His research interests include ASON, optical networks restoration and access network.