

# 一种新的格状波分复用光网络保护方法\*

宋鸿升 徐云斌 顾皖仪

(北京邮电大学光通信中心 128 信箱,北京 100876)

**摘要** 在 P 圈法和哈密顿环保护法的基础上,提出了一种新的适用于格状波分复用光网络的基于资源的环保护方法,我们称之为 RP 圈法. 与其他基于环的格状光网络保护方法相比,RP 圈法具有配置方式简单、与业务模型不相关以及圈具有长度限制等许多特点. 文中给出了 RP 圈法的一种启发式算法,仿真结果表明此算法具有较高的容量效率,是一种可适用于动态业务的实用化光网络保护方法.

**关键词** RP 圈法;P 圈法;哈密顿环保护法;资源;业务

**中图分类号** TN929.11 **文献标识码** A

## 0 引言

随着光传输技术的飞速发展,波分复用(WDM)网络中单信道传输速率和单纤复用信道数不断地增加,从而导致了网络容量的急剧扩大. 与此同时,一旦网络中发生故障将会给整个社会生活带来严重的影响. 因此,在通信日益发展的今天,保证光网络的可靠性具有非常重要的意义. 人们也对此进行了多方面的深入研究<sup>[1,2]</sup>.

目前,有多种针对格状光网络的保护方法,它们主要分为两大类:基于环的方案和基于格状拓扑的方案. 在基于格状拓扑的方案中,一般使用标准的最优化技术(例如,整数线性规划、模拟退火算法等)针对静态的业务实现对格状网络中预置保护资源的计算<sup>[3]</sup>. 使用这种方案的优点是能获得最优化的网络资源利用率,但同时不可避免的也存在计算复杂和故障恢复速度相对较慢的缺点. 而基于环的方案其主要思路是希望把原有 SDH 自愈环成熟的保护机制拓展到格状网络中来,相应的方法包括 P 圈(P-cycle)法、哈密顿环保护(Hamiltonian Cycle Protection, HCP)法、增强环法以及单向环双重覆盖法等<sup>[4]</sup>. 其中,兼具有效的资源利用率和快速保护速度的 P 圈法<sup>[5]</sup>和简单实用的哈密顿环保护法<sup>[6]</sup>成为当前人们研究的热点问题. 但是,这两种方法在算法复杂度、适用的业务类型和网络规模等方面也存在一定的局限性. 基于以上两种环保护方法,本文进一步提出了一种新的格状光网络保护法,我们称之为 RP 圈法. 它不仅结合了两种方法的优点,而且克服了两者的一些局限性. 具有与业务类型无关、资源利用率高和配置简单等特点.

## 1 基于环的保护方法

环网具有很强的自愈性,但这是以 100% 的空闲资源为代价的,而格状网络的一大优点就是具有高的资源利用率,如果只是简单地将自愈环概念拓展到格状拓扑结构中,势必会使网络的资源利用率下降,体现不出格状网络的特点. 而 P 圈法和哈密顿环保护法则较好地解决了这个问题.

P 圈(P-cycle)法的出现为在格状 WDM 网络中实现快速的故障保护提供了一种有效的手段. 它很好地结合了环网保护和格状网络恢复两种方案的优点—保护速度快和容量效率高<sup>[3]</sup>. 它利用空闲资源预先设置一组用来保护业务的环形通道(即 P 圈). 当发生故障时,在故障链路的两端点进行保护倒换来实现针对受损业务的快速保护功能. P 圈法的最大特点就是在允许工作通道任意选择路由的情况下,不仅能对圈上链路而且能对跨接链路的故障提供保护<sup>[4]</sup>. 这也是 P 圈法能利用少量的空闲资源来实现格状网络的快速保护的关键所在. 而传统的 SDH 自愈环保护方法只能对圈上的链路提供保护,因此,与之相比 P 圈法具有较高的资源利用率.

但是,P 圈法基于业务进行保护的特性同时也给它带来了一定的局限性. 由于它是针对网络中的一组业务进行保护的,在 P 圈配置前必须预先知道网络中业务占用工作资源的情况,因此它主要适用于静态或者准静态业务. 即使为了适应动态业务的需求,使用动态配置 P 圈的方法保护业务<sup>[5]</sup>,也会给网络带来繁重的配置管理任务,实现起来较为复杂.

而哈密顿环保护(HCP)法是一种适用于具有哈密顿图拓扑结构的均匀格状光网络的保护方法<sup>[6]</sup>. 它选择网络中的一个哈密顿环作为网络保护圈,对整个网络进行保护. 这里,哈密顿环是指仅一次经过网络中每个节点的一个环. 这种保护方案既

\*国家 863 计划和国家自然科学基金(90104003)资助项目  
Tel:010-62283383 Email:hongshengsong@263.net  
收稿日期:2003-08-18

能保持自愈环的简单性,又能高效地使用网络资源. 由于它是一种针对资源的保护方法,因此不仅适用于静态业务,同样也适用于动态业务.

同时也可以看出哈密顿环保护法对网络拓扑结构有特殊的要求,而且对于大型的网络来说,由于一个哈密顿环需要经过所有的节点,故在进行故障倒换时光信号传送的距离变得很长,由此引起的功率下降、ASE 噪声积累以及偏振模色散(PMD)影响等因素会大大降低光信号的信噪比(OSNR),使得信号无法识别. 因此,在实际中需要对哈密顿环的长度有一定的限制,这就制约了哈密顿环保护法在大型网络中的应用.

## 2 RP 圈法描述

基于以上两种环保护方法,我们提出了一种新的基于资源的格状光网络的环保护方法—RP圈法. RP圈法保留了P圈法对跨接链路的保护以及哈密顿环保护法针对资源保护的特点,并克服了两者的缺点,可适用于动、静态的业务而且对网络拓扑没有特别的要求. 实际上,RP圈法是一种基于资源保护的方法,它的基本思想是在资源均匀的网络中,利用由一组RP圈构成的保护资源对网络中剩余的工作资源进行保护.

RP圈法可适用于任意拓扑的格状均匀网络. 它象P圈法一样,不仅能对圈上链路单倍容量的工作资源进行保护,还能对跨接链路上两倍的工作资源进行保护. 网络中多个RP圈可能会有重复的圈上链路,此时圈上链路的保护资源可以为多个RP圈所重用. 当网络中发生单链路故障时,负责恢复该故障的RP圈中被重用的圈上链路的两端节点需要根据信令判断故障发生在此RP圈中,并进行相应的保护倒换,把链路上的保护资源用于对此RP圈上受损的业务进行保护.

基于资源的RP圈法的实现过程如图1所示,先根据网络拓扑找出网络中所有可能的圈集合,圈集合的选择可以以圈的长度(或跳数)为限制. 然后使用RP圈启发式算法从集合中选取一组圈作为保护RP圈集合,从而把整个网络容量划分为工作容量和保护容量. 由于假设网络是均匀的,故每条链路上的容量都是相等的,RP圈上链路容量的分配类似于SDH的两纤双向复用段保护环(BLSR),RP圈上链路在每个方向上有一半的容量作为保护容量. 当有业务达到时,只要在可用的工作容量内部选择路由,就能达到保护业务的目的,而不论是静态业务还是动态业务. 其中,常用的圈集合的搜索算法有宽度优先搜索(breadth first search)算法以及

Johnson 算法等.

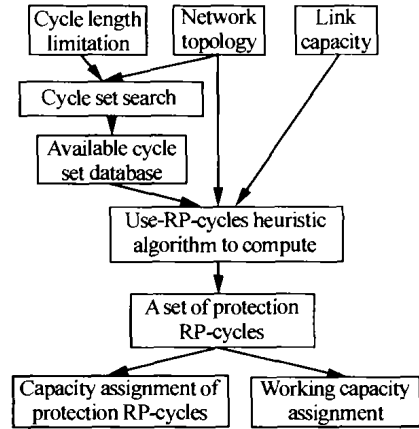


图1 基于资源的RP圈法实现过程

Fig. 1 Procedures of resource-based RP-cycles method

RP圈法与P圈法和哈密顿环保护法的比较如表1所示.

表1 三种基于环的保护方法的比较

	P圈法	哈密顿环保护法	RP圈法
保护资源	一组优化P圈	一个哈密顿环	一组优化RP圈
保护对象	业务	资源	资源
保护速度	快	快	较快
适用业务	静态	动、静态	动、静态
拓扑要求	任意格状拓扑	哈密顿图拓扑	任意格状拓扑
资源分布	任意	均匀	均匀
算法复杂度	复杂	简单	较简单
圈长度限制	可有	无	可有

从表中可以看出,基于资源进行保护的RP圈法可适用于任何类型的业务和网络拓扑结构,但要求网络中链路资源是对称且均匀分布的,而这对于实际网络来说一般都能满足要求. 从实现的复杂度来说,RP圈法与哈密顿环保护法类似,只需要在网络运行初期对网络资源进行一次性的规划,RP圈不需要进行重新配置,网络中的保护资源始终是固定的,这就大大减少了对网管的功能需求,具有良好的实用性. 而在P圈法中,当有新的业务到来或者发生了故障的时候,如果原来设置的P圈不能保护所有的业务,就必须进行P圈的全局或者局部的重新优化计算,由网管系统对P圈进行重新配置<sup>[4]</sup>,实现起来较为复杂.

另一方面,在光网络中如果节点没有信号再生能力,若在故障保护倒换之后光通路变得很长的话,信号可能衰减很大从而使得光信噪比(OSNR)劣化. 因此,我们需要考虑圈的长度限制问题. RP圈法与P圈法类似,可以按照光信号传输距离的极限确定可选圈的物理长度或跳数,而对于哈密顿环保护法来说,保护环必须经过网络中所有的节点,故对于大型网络来说是不实用的.

此外,从保护速度上来说,由于RP圈法可以链

路上的保护资源为多个 RP 圈所重用,因此,在网络中发生单链路故障的时候,故障链路所在的 RP 圈如果有重用链路,那么不仅需要在故障链路两端进行保护倒换,还需要在重用链路的两端点上把其保护资源倒换到此 RP 圈上来. 故在 RP 圈法中需要故障信令环绕故障 RP 圈进行传送,与 P 圈法和哈密顿环保护法的保护时间相比相对要长.

### 3 RP 圈启发式算法

我们提出了一种 RP 圈法的启发式算法,用于从网络所有可用圈中逐步选出 RP 圈. 假设一个均匀网络中链路容量都为  $C$ . 则 RP 圈启发式算法的实现步骤如下:

1) 根据网络拓扑和圈的长度限制条件(跳数限制或者物理长度限制),计算出网络中所有可用的圈的集合  $P$ ;

2) 根据网络的拓扑和当前资源状况,计算集合  $P$  中各个可用圈的新增资源比率  $NR$ . 一个圈的  $NR$  定义为:当采用此圈作为 RP 圈时,网络中新增的保护资源与新增工作资源的比例. 如果新增工作资源为 0,则认为此圈的  $NR$  值无限大;

3) 找出集合  $P$  中  $NR$  值最小的圈作为此次选择的一个 RP 圈,如果多个圈的  $NR$  都相同,那么就选与已选择的 RP 圈重合的链路(包括跨接链路和圈上链路)少的圈,再相同则选工作链路多的一个,若再相同则任意选择一个.

4) 为此次选择好的 RP 圈分配保护和工作资源,保护资源包括每条圈上链路容量的一半  $C/2$ ,容量在双向链路上是对称互补分配的,类似于 BLSR 的容量分配方式. 如果此圈与原有已经选择的 RP 圈有相同的圈上链路,则此链路容量分配不变;若此圈的圈上链路与原有圈的跨接链路重合,则分配相应的保护资源;若此圈的跨接链路与原有圈的圈上链路或者跨接链路重合,则此链路容量分配不变.

5) 判断是否所有网络资源已经划分完毕. 如果是,则算法结束;否则,从集合  $P$  中去除选择了的圈,继续步骤 2,若集合  $P$  中已没有可用的圈,则算法失效.

经过此算法可得到一组可用的 RP 圈. 而对于网络中的每一条链路来说,它可能是多个 RP 圈的圈上链路或者跨接链路. 因此,就需要各个节点记录相关的数据,以便于在故障时进行相应的保护倒换. 如果一条链路是多个 RP 圈的圈上链路或者圈上链路和跨接链路,我们在此链路的两节点只记录它作为圈上链路的多个 RP 圈. 在圈上其它链路发生故障时,重用链路上的两节点可根据故障信令把

保护资源倒换到相应的 RP 圈上,而当重用链路发生故障时,只需要在链路两端点将业务倒换到其中的一个 RP 圈上就行了;而如果一条链路是多个 RP 圈的跨接链路,那么只需要在其两端点处记录其中的一个 RP 圈用于保护倒换就行了. 对于以上两种情况,为了减少保护时间,可以选择长度最短(或跳数最少)的 RP 圈.

在图 2 中以一个六节点的网络为例说明 RP 圈法. 此网络中一共有三个圈,分别是 A-B-C-F-E-D、A-B-E-D 和 B-C-F-E. 假设网络中每对节点之间的双向链路容量都为 2,如果允许的 RP 圈最长为 6 跳,则网络中可用圈集合包括上面的三个圈,它们的  $NR$  分别为 0.75、1 和 1. 故我们选择  $NR$  最小的双向容量为 1 的圈 A-B-C-F-E-D 作为 RP 圈,此时这样一个圈就能对整个网络提供保护了,如图 2(a)所示,链路上的数字代表了此链路上保护资源的容量,此时保护资源和工作资源的比值(PWR)为 75%. 而如果只允许 RP 圈最长为 4 跳时,只有后两个圈可用, $NR$  都为 1,根据 RP 圈启发式算法,可以先选择 A-B-E-D 作为 RP 圈,然后剩下的圈 B-C-F-E 的  $NR$  重新计算仍为 1,它再被选为 RP 圈. 由此,两个容量为 1 的 RP 圈就对整个网络提供保护,如图 2(b)所示. 而对于两圈共用的链路 BE,只需要保留 1 倍容量的资源作为保护资源,而在进行故障倒换时,需要链路 BE 的端点 B 和 E 区分故障发生在哪个圈中而进行相应的倒换. 此时,保护资源和工作资源的比值(PWR)为 100%.

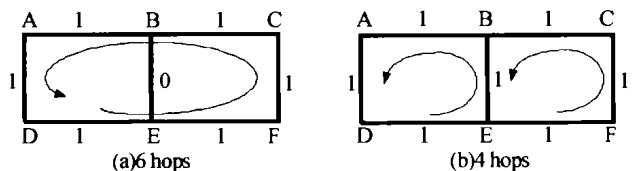


图 2 不同圈长度限制的 RP 圈法的例子  
Fig. 2 Examples of RP-cycles method with different cycle length limitation

### 4 仿真结果

我们编程实现了 RP 圈启发式算法,并在如图 3 所示的 10 节点 16 链路的类教育网中对 RP 圈法进

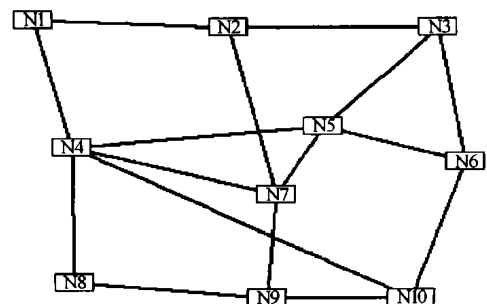


图 3 RP 圈法的仿真网络:类教育网  
Fig. 3 Simulation network: quasi-education network

行了仿真分析. 在仿真中, 假设网络中每条链路上的双向容量为 2. 可用圈集合的计算使用了改进的圈搜索算法<sup>[7]</sup>, 得到了类教育网中全部圈的一个子集.

以圈的跳数作为限制条件, 用启发式算法计算出了每种情况下的 RP 圈集合, 并比较了在不同的圈限制条件下网络的保护和工作资源比率 (PWR), 如图 4 所示. 从图中可以看出, 在允许最大跳数在 4 到 10 之间时, PWR 值由 1 到 0.455 变化. 随着允许圈的最大跳数的增加, 网络的 PWR 值也逐渐下降, 网络的资源利用效率增加. 当允许的跳数为 10 时, 所选择的 RP 圈集合只包含一个哈密顿环, 与哈密顿环保护法类似. 此时, 网络的 PWR 值最低, 达到 0.455. 与之相比, 在 SDH 网络中需要 100% 的保护容量; 而 P 圈保护法对于有全波长变化功能的 VWP 网络来说, P 圈保护资源需要有大约 50% 的工作资源容量. 在没有波长转换功能的 WP 网络中, 保护容量与工作容量之比 (PWR) 可达到 71%<sup>[8]</sup>. 由此可见, RP 圈法具有较高的资源利用率. 另一方面, 随着 RP 圈允许跳数从 4 到 10 逐渐增加, 网络中选取的 RP 圈的数目分别为 6、4、4、4、3、3、1, 逐渐减少.

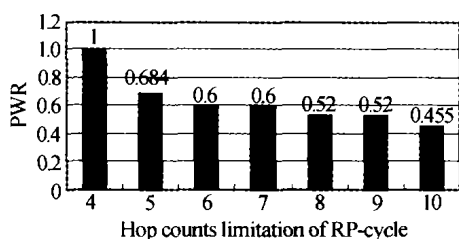


图 4 类教育网中 RP 圈法的仿真结果

Fig. 4 RP-cycles method simulation results in quasi-education network

## 5 结论

P 圈法和哈密顿环保护法存在一定的局限性, 本文提出了一种新的可应用在格状波分复用光网络中的 RP 圈保护法. 它的优点包括资源利用率高、适用于各种类型业务和各种规模的网络、算法简单实用等. 但是, 相对来说, 由于需要保护信令进行保

护资源的倒换, RP 圈法需要的保护时间较长.

本文提出的 RP 圈启发式算法不仅考虑了圈的长度限制条件而且引入了多个圈重用链路的概念, 从而更符合实际并有效地提高了网络的资源利用率. 从理论分析和仿真结果可以看出, 这种算法比 P 圈法和哈密顿环保护法都有所改进, 更适合于在格状 WDM 网络中的应用.

## 参考文献

- 1 Wang Yun, Zeng Qingji, Liu Jimin. A new shared link protection scheme in WDM optical networks. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(7): 798 ~ 802
- 2 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
- 3 Grover W D, Stamatelakis D. Cycle-oriented distributed preconfiguration: Ring-like speed with mesh-like capacity for self-planning network restoration. *Proc of ICC*, 1998, **1**: 537 ~ 543
- 4 Grover W D. Understanding P-cycles, Enhanced Rings, and Oriented Cycle Covers. 1st Int'l Conference on Optical Communications and Networks (ICOON'02), Singapore, Nov. 11-14, 2002. 305 ~ 308
- 5 Gruber Claus G, Schupke Dominic A. Capacity-efficient Planning of Resilient Networks with P-cycles. Networks 2002, 10th International Telecommunication Network Strategy and Planning Symposium, Munich, Germany, June 23-27, 2002. 389 ~ 396
- 6 Huang Hong, Copeland J A. A series of hamiltonian cycle-based solutions to provide simple and scalable mesh optical network resilience. *IEEE Communications Magazine*, 2002, **40**(11): 46 ~ 51
- 7 Zhang Hanxi, Yang Oliver. Finding protection cycles in DWDM networks. *Proc of IEEE ICC*, 2002, **5**(28): 2756 ~ 2760
- 8 Schupke D A, Gruber C G, Autenrieth A. Optimal configuration of P-cycles in WDM networks. *Proc of IEEE ICC*, 2002, **5**(28): 2761 ~ 2765

## A New Protection Method in Mesh WDM Optical Network

Song Hongsheng, Xu Yunbin, Gu Wanyi

*Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box 128, Beijing 100876*

Received date: 2003-08-18

**Abstract** Based on P-cycle method and Hamiltonian cycle protection method, a new cycle-based protection method in mesh WDM optical network is proposed and it is called RP-cycle method. Compared with other cycle-based protection methods in mesh optical network, RP-cycle method has many advantages such as simple configuration, independent of traffic model and having length limitation of cycles. And a heuristic algorithm of RP-cycle method is given. Simulation results show that RP-cycle method has high capacity efficiency and it is a practical optical network protection method suitable for dynamical traffic.

**Keywords** PR-cycle method; P-cycle method; Hamiltonian cycle protection method; Resource; Traffic



**Song Hongsheng** was born in 1976, in Hunan Province, China. He received his B. S. degree in College of Telecom Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT), China, in 1999. Currently he is a Ph. D. candidate of BUPT. He is interested in the research areas of intelligent optical network and optical network survivability.