

带有波长连续性限制的 p-cycle 算法研究

邓宇, 臧云华, 赵蕾, 张杰, 顾婉仪

(北京邮电大学 光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要: 研究了在无任何波长变换器的光网络中传统 p-cycle 算法保护性能的劣化, 并提出了基于波长互补配置方法以及固定路径最小拥塞业务预路由算法的改进 p-cycle 算法。通过 OPNET 仿真平台验证了改进后的 p-cycle 算法可在略微牺牲动态业务阻塞率的情况下, 很好地满足保护倒换时波长连续性限制, 从而大大改善了 p-cycle 算法的保护性能, 这对于将 p-cycle 保护方式应用到现实光网络中具有重要意义。

关键词: 光网络; p-cycle 算法; 波长连续性; 波长互补配置; 固定路径最小拥塞算法

中图分类号: TN919.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2007)S1-0059-05

Research on p-cycle algorithms with the wavelength continuity constraint

DENG Yu, ZANG Yun-hua, ZHAO Lei, ZHANG Jie, GU Wan-yi

(Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies, Ministry of Education, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper focuses on the research on conventional p-cycle algorithms' performance degradation while there is not any wavelength converter in optical networks. Further, two improved strategies of p-cycle algorithms, viz. FPLC (Fixed Paths Least Congestion) pre-routing algorithm and wavelength complement configuration method, are proposed. Based on our extensive simulations, it can be concluded that the improved p-cycle algorithms can well satisfy the wavelength continuity requirement when the protection switch is being performed compared with the conventional p-cycle algorithms, in spite of a little higher block probability of dynamic traffic. Thus our work is contributive to applying p-cycle protection to present optical networks.

Key words: optical networks; p-cycle algorithm; wavelength continuity; wavelength complement configuration; FPLC

p-cycle保护的概念是由加拿大的Grover教授提出来的^[1], 它是指通过预先设置的环形通道来实现格状网络中的快速保护, 同时允许业务通道在网络资源图上选择最短的直达路由, 从而结合了环形网保护和网状网保护恢复两者的优点。尽管p-cycle在保护倒换功能上与环网保护相似, 但p-cycle与任何至今为止有恢复能力的基于环的系统并不相同, 因为它不仅能对环上链路的故障提供保护, 还能为跨接区段的故障提供保护, 因此p-cycle保护方式可以在未来的光Mesh网中得到很好的应用。

目前, 关于p-cycle算法的研究已有很多, 例如基本圈算法^[2,3]、RSPC (Routing in Spare plus Protection Capacity) 算法^[4]、RP (Resource-based Protection cycle) 算法^[5]、PWCE (Protected Working Capacity Envelops) 算法^[6]、APWCE (Adaptive Protected Working Capacity Envelops) 算法^[7]等, 但其中绝大部分算法都是基于光网络中具有完全或者部分波长变换能力^[8,9]的, 而由于在实际光网络中波长变换器的使用率极小, 因此我们非常有必要为p-cycle算法加载波长连续性限制条件。笔者着重研究了波长连续性限制对传统p-cycle算法的影响, 并提出了新的改进p-cycle算法以满足保护倒换时波长一致性要求, 从而为将p-cycle保护方式真正应用到现实光网络中提供了依据。

收稿日期: 2007-05-20

基金项目: 国家 863 项目资助 (2006AA01Z244); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助 (NCET-05-0112); 国家自然科学基金项目资助 (60602004)

作者简介: 邓宇 (1982-), 男, 北京邮电大学博士研究生。

1 波长连续性限制对传统 p-cycle 算法的影响

传统 p-cycle 算法一般都具有 4 个基本阶段: 搜寻所有可用圈阶段; 网络业务预路由阶段; 选取保护圈阶段; 保护资源配置阶段。为了使工作波长集合最大化以便于建立工作业务光通路, 通常为其配置统一的保护波长平面, 即网络中所有的 p-cycle 都尽量使用相同的保护资源集合。

当引入波长连续性限制条件后, 由于 p-cycle 保护波长和受损业务工作波长需要满足波长一致性要求, 所以可能导致 p-cycle 对大量受损工作业务保护失败, 从而使得光网络的保护性能大幅度下降。例如, 在图 1 所示的光网络中, 假设网络资源是均匀分布的, 每条链路的单向总容量为 Ω , 其中工作波长集合为 W , p-cycle (图中双向箭头链路构成的保护圈) 所配置的保护波长集合为 P , 显然有 $W \cup P = \Omega$ 。另外, 由于传统 p-cycle 算法采用的是统一的保护波长平面配置方法, 则有 $W \cap P = \emptyset$, 在这种情形下, 假设链路 $B \rightarrow C$ 发生故障, 则该链路上的受损工作业务将无法得到保护, 例如, 图中所示的某业务通道 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow H$ 将保护失效, 这是因为 p-cycle “ $B \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow C$ ” 无法提供和业务工作波长一致的保护资源。

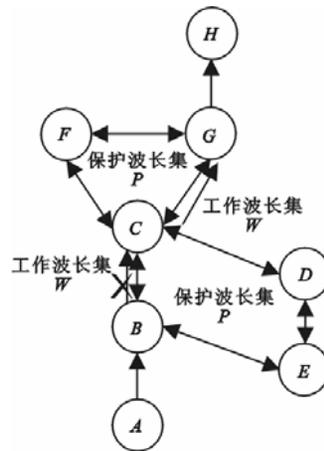


图 1 保护倒换时波长连续性限制对传统 p-cycle 算法的影响

另外, 在传统 p-cycle 算法中, 其采用的业务预路由算法是 Dijkstra 算法, 这种路由算法虽然简单易行, 但也容易使得网络中资源集中化, 即某些链路上工作容量很小, 而某些链路上工作业务又过于集中。而当保护倒换引入波长连续性限制条件后, 这种工作资源分布的不均匀将会导致网络中工作资源与保护资源交集较小, 这不利于保护倒换时满足保护波长与工作波长的一致性要求。

2 改进 p-cycle 算法

为了提高光网络中 p-cycle 算法在波长连续性限制条件下的保护性能, 对传统 p-cycle 算法进行两方面的改进, 即保护资源配置方法的改进和业务预路由算法的改进。

2.1 保护资源配置方法的改进

在保护资源配置阶段, 我们考虑 p-cycle 算法改进如下:

首先, 我们将算法计算出的一组 p-cycle 分为顺时针 p-cycle 和逆时针 p-cycle, 记顺时针 p-cycle 配置的保护波长集合为 C_p , 为逆时针 p-cycle 配置的保护波长集合为 AC_p , 相应地, 顺时针 p-cycle 圈上链路的工作波长集合为 C_w , 逆时针 p-cycle 圈上链路的工作波长集合为 AC_w 。其次, 保护容量大小根据对网络业务矩阵预路由后各链路上的工作容量来分配, 目标是实现对网络中工作容量的尽量保护。

接下来是针对保护倒换时波长连续性限制条件, 确定各链路上的工作波长集合和保护波长集合, 这也是我们研究的关键所在。为了使得所分配的 p-cycle 保护波长可以在满足波长连续性限制条件下对工作业务进行最大保护, 我们提出了波长互补配置方法, 即顺(逆)时针 p-cycle 圈上链路的工作(保护)波长集合应与逆(顺)时针 p-cycle 圈上链路的保护(工作)波长集合尽量一致, 它们的交集越大, 保护成功率也将越高。该配置方法的思想如图 2 所示。

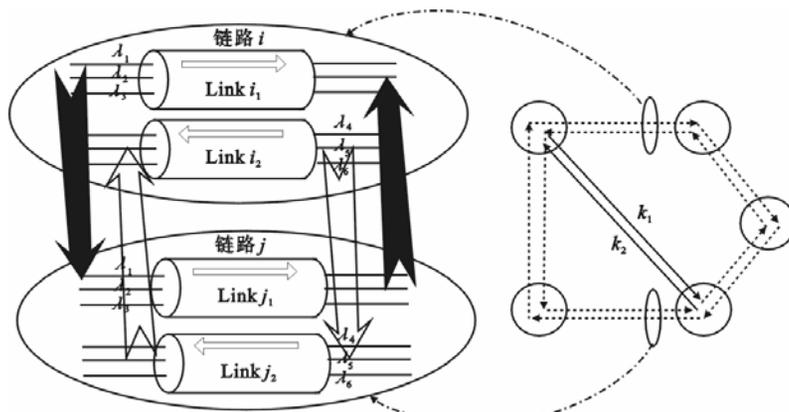


图2 满足波长连续性限制的 p-cycle 保护波长配置方法

在图2中,图右半部分示例了一个简单的网络拓扑,其中,虚线圈表示计算得出的p-cycle,它可以保护网络中所有的单链路故障,包括圈上链路以及跨越链路。图左半部分示例了如何为该p-cycle的顺时针圈上链路和逆时针圈上链路配置工作波长和保护波长,其中,实线波长代表配置为工作波长,虚线波长代表配置为保护波长,对顺时针圈上链路例如 i_1, j_1 等分别配置工作波长为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$,保护波长为 $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$;对逆时针圈上链路例如 i_2, j_2 等分别配置工作波长为 $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$,保护波长为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 。

在这种波长互补配置情况下,如果某条圈上链路发生故障,例如链路 i ,我们可以使用逆时针p-cycle来保护顺时针圈上链路 i_1 的工作业务波长 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$,而使用顺时针p-cycle来保护逆时针圈上链路 i_2 的工作业务波长 $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$;如果是某条跨越链路发生故障,例如链路 k ,则我们可以使用顺时针p-cycle对链路 k_1 和 k_2 的工作业务波长 $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ 进行保护,而使用逆时针p-cycle对链路 k_1 和 k_2 的工作业务波长 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 进行保护,从而实现跨越链路 k 上工作业务的完全保护。

由此可见,采用这种新的保护波长配置方法,有利于满足波长连续性限制条件,其保护成功率相对传统的配置方法也会大大提高。

2.2 业务预路由算法的改进

在网络业务预路由阶段,考虑p-cycle算法改进如下:对网络业务矩阵进行预路由时,不采用传统的最短路径算法,如Dijkstra算法,而是采用基于链路负载均衡的固定路径最小拥塞FPLC(Fixed Paths Least Congestion)算法^[10]。通常,FPLC算法是用在光网络的动态选路中,其目的是为了均衡网络链路负载。在FPLC路由算法中,业务的工作路径不一定每次选的都是最短径,随着链路负载的加大,业务将会优先选取空闲资源多的通道。虽然采用此算法会加大路由长度以及业务连接建立时间,但有利于降低业务阻塞率以及网络资源均衡分布。

如果将FPLC算法用于p-cycle算法的业务预路由过程,可以使得网络中工作资源分布较为均衡,因此不会导致某些链路上的工作业务过于集中,从全网看,工作波长的分布也可趋向均匀化,防止出现与保护波长集合孤立的工作波长集合,从而为提高波长连续性限制条件下p-cycle的保护性能提供了可能。

3 仿真与结果分析

3.1 仿真环境

为了验证对p-cycle算法的改进可以较好地满足波长连续性限制,利用OPNET Modeler仿真软件搭建了一个光网络p-cycle生存性仿真平台,如图3所示。采用Pan-European COST239网络^[11]作为仿真拓扑,网络中各节点之间的光纤链路都是双向的,容量为单纤16波。网络故障设置为单链路双向故障。当网络业务为静态时,我们设置网络中总静态业务个数分别为80,90,⋯,180,且通过设置静态业务矩阵可配置光网络中静态业务分布。当

网络业务为动态时,采用泊松业务模型,并假定各节点的业务强度相同,仿真中分别设置网络中动态业务强度分别为 2, 4, 6, ..., 20Er1。

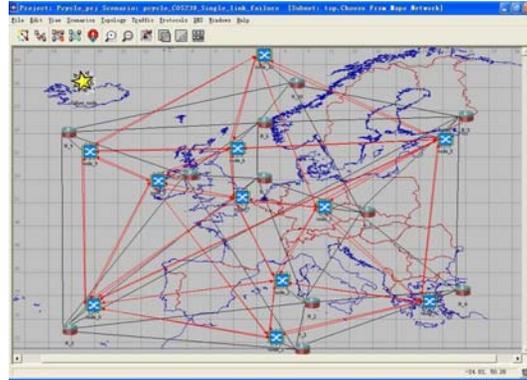


图 3 基于 OPNET 的光网络 p-cycle 生存性仿真平台

3.2 结果与分析

基于上述网络仿真环境,我们以 BP、PWCE 算法分别代表典型的传统静态、动态 p-cycle 算法,并在波长连续性限制条件下,对传统 BP、PWCE 算法以及改进的 BP、PWCE 算法进行了仿真对比。其中,我们将改进的 BP 和 PWCE 算法分别标记为 BP_continuity、PWCE_continuity。

(1) p-cycle 保护成功率

图 4 和图 5 分别显示了具有波长连续性条件限制时,改进 p-cycle 算法与传统 p-cycle 算法在保护性能方面的比较。

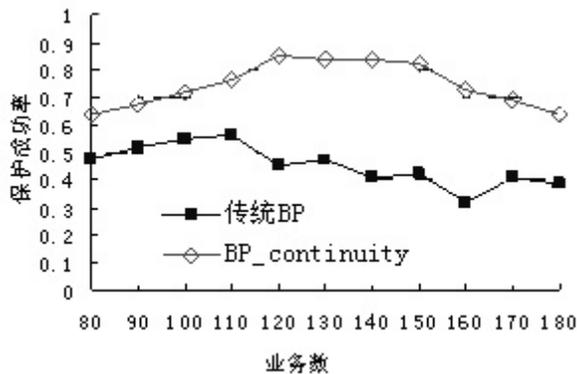


图 4 改进 BP 算法与传统 BP 算法的保护成功率比较

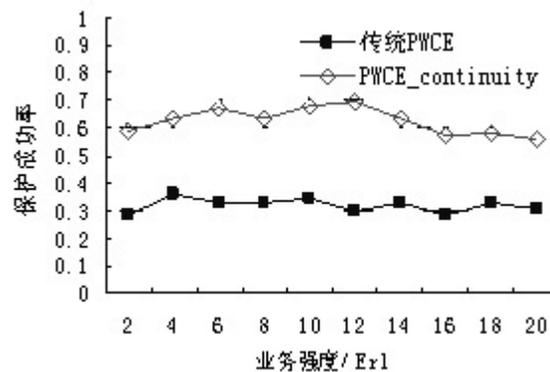


图 5 改进 PWCE 算法与传统 PWCE 算法的保护成功率比较

如图 4 和 5 所示,无论是在静态业务环境、还是动态业务环境下,当保护恢复需要满足波长连续性限制时,PWCE_continuity 算法和 BP_continuity 算法的保护成功率都相应地比传统 PWCE 算法和 BP 算法要大大提高。由此可见,采用基于 FPLC 的业务预路由算法以及资源互补配置方法可以有效地使得 p-cycle 算法满足波长一致性要求,且工作资源集合与保护资源集合的交集越大,改进算法的保护性能将越好。

(2) 动态业务阻塞率

图 6 显示了具有波长连续性条件限制情况下,分别采用 PWCE_continuity 算法与传统 PWCE 算法时其动态业务阻塞率的比较,横坐标代表了网络中动态业务强度。从图 6 中可以看出,随着动态业务强度的增大,其阻塞率逐渐上升,这是由于业务强度越大,网络中同时存在的平均业务数也就越多,资源竞争加剧,从而导致阻塞率升高。另外,从图中还可以看出,当具有波长连续性条件限制时,采用 PWCE_continuity 算法后网络中动态业务的阻塞率要比传统 PWCE 算法上升 5-7%左右,这是因为传统的保护资源配置方法使得工作波长集与保护波长集尽量分离,而我们提出的资源互补配置方法使得工作波长集与保护波长集的交集尽量最大化,在有利于满足保护倒换波长一致性要求的同时,也导致了各链路上的工作波长交集相应缩小,而业务建光通路时也是需要满足波长连

续性限制的, 所以采用 PWCE_continuity 算法时网络中动态业务的阻塞率会有所升高, 但从仿真结果来看, 其阻塞率升高的幅度并不大, 且与其带来的保护成功率大幅度提高相比, 这点代价是可以接受的。

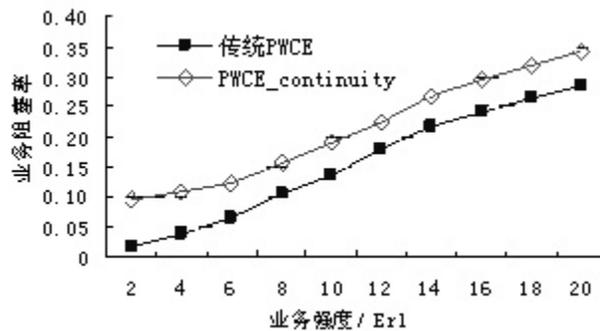


图6 改进PWCE算法与传统PWCE算法的动态业务阻塞率比较

4 结论

p-cycle 保护是 Mesh 光网络中一种有效的保护方式, 但目前绝大部分 p-cycle 算法都是以光网络中具有完全或部分波长变换能力为前提的, 为了将 p-cycle 保护方式能真正应用到现实光网络中, 笔者研究了光网络中波长连续性限制条件对 p-cycle 算法的影响, 并提出了两种改进策略, 一种是在业务预路由阶段采用固定路径最小拥塞算法, 另一种是保护资源配置阶段采用波长互补配置方法。进而, 我们在基于 OPNET Modeler 的光网络 p-cycle 生存性仿真平台上对改进 p-cycle 算法与传统 p-cycle 算法在加载波长连续性限制条件时进行了仿真比较, 验证了我们提出的改进 p-cycle 算法的有效性及其可行性, 由仿真结果可知, 改进 p-cycle 算法可以在略微增大动态业务阻塞率的情形下, 很好地改善 p-cycle 算法的保护性能, 从而实现 p-cycle 保护方式在无任何波长变换器的光网络中的应用。

参考文献

- [1] Grover W D, Stamatelakis D. Cycle-oriented Distributed Preconfiguration: Ring-like Speed with Mesh-like Capacity for Self-planning Network Restoration [C]// IEEE ICC. Atlanta, Georgia: IEEE, 1998: 537-543.
- [2] Johnson D B. Finding all the Elementary Circuit of a Directed Graph [J]. SIAM J Comput, 1975, 4(1): 77-84.
- [3] Doucette J, Grover W D. Algorithmic Approaches for Efficient Enumeration of Candidate p-cycles and Capacitated p-cycle Network Design [C]// Proc of DRCN. Banff, Alberta, Canada: 2003: 212-220.
- [4] Schupke D A, Jger M, Comparison of Resilience Mechanisms for Dynamic Services in Intelligent Optical Networks [C]//Proc of DRCN. Banff, Alberta, Canada: 2003: 106-113.
- [5] Song H. Resource-based RP-cycles Protection Method in Mesh WDM Network [C]//SPIE APOC Conference. Wuhan: 2003: 81-88.
- [6] Grover W D. The Protected Working Capacity Envelope Concept: an Alternative Paradigm for Automated Service Provisioning [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(1): 62-69.
- [7] Shen G, Grover W D. Automatic Lightpath Service Provisioning with an Adaptive Protected Working Capacity Envelope Based on p-cycles [C]//Proc of DRCN. Ischia, Italy: 2005: 375-383.
- [8] Listanti M. Optical Path Strategies in WDM All-optical Networks: Minimization of Wavelength Converters in Optical Cross-connect [C]//IEEE GLOBECOM'97. Phoenix, Arizona USA: 1997: 16-17.
- [9] Li Tianjian, Wang Bin. Optimal Configuration of p-cycles in WDM Optical Networks with Sparse Wavelength Conversion [C]//IEEE GLOBECOM'04. Dallas, USA: IEEE, 2004: 2024-2028.
- [10] 张文涛, 黄传河. WDM 全光网络中的路由及波长分配[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(6): 171-173.
- [11] O'Mahoney M J, Simeonidou D, Zhou J, et al. The Design of a European Optical Network[J]. Lightwave Technology, 1995, 13(5): 817-828.