

一种快速的启发式 p 圈容量分配算法

李可可,徐荣青,王 凯

(南京邮电大学 光电工程学院,江苏 南京 210046)

摘要:针对经典的启发式 p 圈容量分配算法计算时间比较长的问题,提出了一种快速的启发式算法。该算法以 p 圈的保护效率增大作为圈扩张标准来构造 p 圈,进而进行容量分配,由于不需要预先构造一组候选圈,因此可以降低冗余度和算法耗时。用泛欧 COST239 网络拓扑对算法进行了仿真,结果表明,该算法能提高资源利用率,且算法耗时也大为减少。

关键词:光网络;保护;生存性;p 圈;容量分配

中图分类号:TN915

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2013)02-0012-03

A fast heuristic p-cycle capacity assignment algorithm

Li Keke, Xu Rongqing, Wang Kai

(School of Opto-Electronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: In view of the long time taken in using the classical p-cycle capacity assignment algorithms, this paper presents a fast heuristic one. Which constructs the p-cycle by taking the improvement of the protection efficiency of the p-cycle as the standard for its expansion and then carries out capacity assignment. As it is not necessary to construct in advance a candidate cycle, it can reduce redundancy and calculation time. The results of simulation on the basis of the pan-European COST239 network topology show that this algorithm can raise the network resource utilization ratio and greatly cut down the running time.

Key words: optical network; protection; survivability; p-cycle; capacity assignment

0 引 言

WDM(波分复用)技术允许在一根光纤中传输多路不重叠光波信号,单个光路的传输速率可以达到 100 Gbit/s,而 DWDM(密集波分复用)的出现使传输速率进一步提高。WDM 网络带来巨大传输容量的同时也存在很大的安全隐患,任何链路或者节点极短时间的失效都可能带来很大的损失。随着 WDM 网络规模的日益扩大和高质量业务需求的不断增长,其生存性作为保证网络正常运行的一种手段,地位显得尤其重要。网络生存性是网络完整性的一部分,泛指网络经受各种故障甚至灾难性大故障后仍能继续运行的能力。光网络的生存性主要可分为保护机制和恢复机制两种方式:保护方案是在故障发生前预留资源用于对可能发生的故障业务进行恢复;恢复方案是在故障发生后根据网络状态实时为受影响的业务提供恢复路径。光网络中常见的保护方案有点到点保护、环网保护和网状网保护,环网保护具有速度快和自用利用率低的特点,网状网保护则能提高资源利用率,但是速度较慢。

预置圈^[1] 俗称 p 圈,是一种有效的生存性保护策略,它的基本思想是利用预先配置空闲资源的环

形通道对网状网络进行快速的保护,所以 p 圈同时具有环保护和网状保护的优点。研究发现,p 圈的配置算法都是首先构造备选圈,然后从备选圈中选择效率高的圈进行配置,以尽量减小资源冗余度,但对算法耗时考虑较少。本文在优先考虑减少算法耗时的基础上,兼顾减小资源冗余度,提出了快速容量优化算法。

1 算法提出

1.1 p 圈基础知识

p 圈集合了环状保护方案和网状保护方案的优点:恢复速度快和容量效率较高。近年来 p 圈研究的主要问题就是高效 p 圈的构造和 p 圈的容量分配^[2]。p 圈的构造算法就是在网络拓扑中找出质量较高的圈来作为保护 p 圈。p 圈 SCA(空闲容量分配)^[3] 有两种数学模型:最大保护效率模型和最少空闲容量模型。前者是空闲容量或者总容量和工作容量给定,合理配置 p 圈使其保护效率达到最高;后者是工作容量给定,配置 p 圈使其保护效率达到 100% 保护时所用空闲资源最少。根据使用的最优化方法可以将 p 圈研究分为完全最优化算法和启发式算法。完全最优化算法是利用 ILP(整数线性规

收稿日期:2012-08-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60778007)

作者简介:李可可(1987-),男,河南淮阳人,硕士,研究方向为光网络。

通讯作者:徐荣青,教授。E-mail: xurq@njupt.edu.cn

划)计算最优解的算法^[4,5],由于 ILP 算法的候选圈随着节点和路径的增加而急速增多,致使其在大型网络拓扑中很难在合理时间内给出最优解。启发式算法是首先构造性能较好的备选 p 圈,然后根据实际工作容量选取实际效率较好的 p 圈进行优先配置^[6,7]。

1.2 p 圈评价标准

假定一个网络拓扑图 G 为无向图, $G = (V, E)$, 其中 V 为拓扑中的节点, E 为拓扑中的边。对于 p 圈的空闲容量分配,我们主要考虑的评价标准有先验效率 $AE(p)$ ^[8]、保护效率 $ER(p)$ 、冗余度和算法耗时。

先验效率是对 p 圈构造算法的评价,反映一个 p 圈理论上的最大保护能力。

保护效率 $ER(p)$ 的定义为 p 圈所能保护的工作容量和 p 圈所消耗的空闲容量之比,即 $ER(p) = (\sum_{i \in l} W_{p,i}) / (\sum_{i \in l} S_{p,i})$, 其中, $W_{p,i}$ 表示 p 圈能保护的链路 i 上的工作容量数, $S_{p,i}$ 表示链路 i 要占用的空闲容量。

冗余度在光网络设计中是一个重要的衡量指标,一个 p 圈的冗余度等于该 p 圈使用的空闲容量(圈使用的波长数)与该 p 圈能保护的容量(圈上以及跨接链路上被保护的波长数)之比,它也反映了网络的资源利用效率。另外,算法的计算时间和所要配置的 p 圈个数也是考察算法优劣的重要依据,算法应该能在尽量短的时间内为网络提供保护,所以要求的算法计算时间越短越好,而配置 p 圈的个数少则能减少管理上的开销。

1.3 快速容量分配算法

文献[7]提出的 CIDA(容量分配迭代算法)是很经典的算法。此算法分为两步:第 1 步是利用构造算法(Expand、Grow)构造出一系列候选圈;第 2 步是在候选圈中选择保护效率高的 p 圈配置到网络中,然后调整工作容量分布,重复第 2 步直到所有的工作容量都得到保护。它是基于链路容量无限大的情况提出的,没有考虑到链路容量的上限和容量均衡问题。本文提出的算法考虑了容量均衡问题,在拓扑寻路的算法中路径权值使用的是工作容量的多少而非传统的物理距离,工作容量大的路径优先考虑为跨接链路,这样能够使总的工作容量尽可能均衡分配。算法在构造候选圈时,考虑实际网络中的工作容量,以保护效率的提高作为扩张标准,如果扩张时保护效率降低,即认为当前圈为保护效率最大的圈并对其分配空闲容量。这样构造出的候选圈都

是保护效率高的 p 圈,且没有构造多余的候选圈,所以能够减少算法的计算时间。

本文定义新算法的名字为 FCOA(快速容量优化算法),定义每条链路上的工作容量即链路业务量为 workcapacity,链路上预留的空闲容量为 sparecapacity。FCOA 的具体步骤如下:(1) 找出最大的工作容量 MAX 和其对应的链路。(2) 修改路由权值,网络拓扑中除第(1)步找出的工作链路外,所有链路的权值修改为 $MAX - workcapacity + 1$,这样能够保证路由时找出的路径能够尽量均衡地分布在工作容量多的链路上。(3) 以第(1)步找出的链路的两个端点为原宿节点,删除该链路,并用 D 算法找出一条最短路径,与原链路构成一个简单的圈,并计算其保护效率为 ER_0 。(4) 在第(3)步构成的简单圈中寻找合适的边进行扩张。选择扩张边的原则是:首先考虑圈上边的未被保护的工作链路数;其次考虑删除链路后新路由和旧圈上能存在的跨接边;最后考虑新路由上链路数少的链路进行扩张。计算新圈的保护效率为 ER_1 ,如果 $ER_1 > ER_0$,那么令 $ER_0 = ER_1$,重复步骤(4);否则停止扩张,保留停止扩张前的圈。如果无法扩张,则本步骤停止,保留停止扩张时的圈。(5) 为上一步中产生的 p 圈配置空闲容量, p 圈上的每条链路为 $sparecapacity + 1$ 。(6) 调整工作容量,将上一步配置的 p 圈的圈上边调整为 $workcapacity - 1$,跨接边为 $workcapacity - 2$ 。(7) 判断是否有未被保护的工作容量,若有,则转第(1)步,否则,算法结束。

2 仿真与数据分析

为了验证算法的优劣,本文编写程序对 CIDA 和 FCOA 进行比较,由于计算时间受硬件影响,我们只考虑相同配置下的计算耗时。假设链路中工作流是双向的,其节点能够实现全波长变换且链路容量是足够的。我们在 COST239 网络拓扑(11 个节点,26 条边)中进行仿真。网络拓扑如图 1 所示。

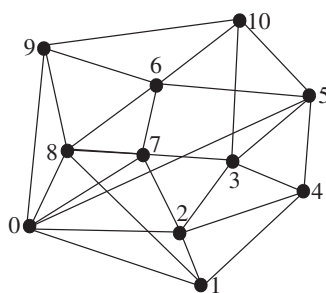


图 1 COST239 网络拓扑

为了全面考察算法的优缺点,我们定义这样 3 种业务量:均衡、相对均衡和一般均衡。对于均衡业务量的情况,我们定义其链路业务量 workcapacity 取值为 20;对于相

对均衡的情况,我们取其链路业务量范围为一组最大差值为 5 的随机数;对于一般均衡的情况,我们取其链路业务量为一组最大差值为 10 的随机数。对以上 3 种情况进行程序仿真,仿真结果如表 1 所示。

表 1 仿真结果

业务量 情况	算法	工作 容量	空闲 容量	冗余度 (%)	配置 p 圈个数	算法耗 时/ms
均衡	CIDA	520	178	34.23	18	203
	FCOA	520	168	32.30	17	16
相对 均衡	CIDA	452	158	34.96	15	187
	FCOA	452	144	31.86	14	15
一般 均衡	CIDA	389	146	37.53	15	187
	FCOA	389	140	35.99	13	<1

由仿真结果可以看出,FCOA 得到的冗余度比 CIDA 较低,而冗余度反映的是资源利用率,且 FCOA 配置的 p 圈个数也少于 CIDA,减轻了网络节点网管的压力。而其算法耗时却远远少于经典的 CIDA。所以,FCOA 适用于对业务恢复时间要求极短的网络环境。

3 结束语

传统的 p 圈容量分配算法是建立在已经成功构造出一批候选圈的基础上,即算法在分配空闲容量之前就要花费一部分时间在构造 p 圈上,这无疑会增加算法的计算时间。随着光网络业务容量的扩展,人们在要求一个算法有较高的资源利用率的同时,还会更加关注业务的恢复时间。本文提出的新算法以提高实际保护效率为标准,并且考虑工作容量的分配,不需事先构造候选 p 圈就能达到工作容量 100%的保护。仿真结果表明,新算法在降低冗余度和配置 p 圈个数的同时,能够大大节省算法计算时间。

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 [A]. ICC'98[C]. Atlanta, USA: IEEE, 1998. 537-543.

[2] Mohammad S, Chadi Assi. A Survey on the P-cycle Protection Method [J]. IEEE Communications Survey & Tutorials,2009,11(3):53-70.

[3] Iraschko R, MacGregor M H, Grover W D. Optimal capacity placement for path restoration in mesh survivable networks [A]. ICC'96 [C]. Dallas, Texas, USA;IEEE, 1996. 1568-1574.

[4] Shen Gangxiang, Grover W D. Design and performance of protected working capacity envelopes based on p-cycles for dynamic provisioning of survivable services [J]. Journal of Optical Networking, 2005, 4(7): 361-390.

[5] Metnani Ammar, Jaumard Brigitte. Dynamic Provisioning and Stability of p-Cycles in WDM Networks [J]. Optical Communications and Networking, 2011, 3(9):713-724.

[6] Zhang H , Yang O . Finding protection cycles in DWDM networks [A]. ICC 2002 [C] . New York: IEEE, 2002. 2756-2760.

[7] Doucette J, He D, Grover W D, et al. Algorithmic approaches for efficient enumeration of candidate P-cycles and capacitated P-cycle network design [A]. DRCN 2003 [C]. Canada: IEEE, 2003. 212-220.

[8] Grover W D, Doucette J. Advances in optical network design with p-cycles;Joint optimization and pre-selection of candidate p-cycles [DB/OL]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1027542>, 2002-11-07.

(上接第 5 页)

[3] Asaka Kota, Nakamura Hirotaka. Proposal for ONU registration and wavelength tuning functions required in MW-PONs with wavelength-splitter-based ODN [DB/OL]. http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=en&id=T09-SG15-C-2130!! MSW-E, 2012-09.

[4] Gengdan, Denis KHOTIMSKY. General discussion on wavelength tuning for G. multi [DB/OL]. http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=en&id=T09-SG15-C-2227!! MSW-E, 2012-09.

[5] ZHANG DeZhi, YUAN LiQuan. General discussion on registration for G. multi [DB/OL]. http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=en&id=T09-SG15-C-2226!! MSW-E, 2012-09.

[6] Hood Dave. G. multi use cases [DB/OL]. [http://ifa.itu.int/t/2009/sg15/exchange/wp1/q2/12-05-16-PhoneCall/G. multi use cases.docx](http://ifa.itu.int/t/2009/sg15/exchange/wp1/q2/12-05-16-PhoneCall/G_multi_use_cases.docx), 2012-05.