

宽带网络中预先恢复路由配置的研究

石 兵, 周明天

(电子科技大学计算机科学与工程学院, 四川成都 610054)

摘 要: 在大容量高速骨干网络的规划运营中, 网络的生存性能和资源利用率是两个关键问题. 在网络服务差异化的趋势要求下, 如何使网络尽可能地满足不同的服务要求并且降低网络的成本, 成为运营商越来越关注的问题. 在本文中, 我们提出了将预先规划和预先配置相结合的恢复策略, 并在网络跨段容量相等的网络模型中进行了性能分析. 指出要提高网络资源的利用率, 需要折中考虑网络的保护率、备用路由的长度以及用于传送非保护业务的备用资源使用量.

关键词: 预先规划; 预先配置; MESH 网络; 恢复策略

中图分类号: TN9151.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 07-1209-03

Study of Using Pre-configured Alternative Route in Broadband Network

SHI Bing, ZHOU Mingtian

(School of Computer Sciences & Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: For the design and operation of high-speed broadband network, survivability and efficiency are two essential problems. How to satisfy the different service requirements as well as reduce the cost of network becomes increasingly concerned. In this paper, we propose a new restoration strategy which is based on combination of the pre-planning and pre-configured methods. Through the performance analysis in fixed span capacity network model, it shows that high efficiency can be obtained from a trade-off between protection ratio and the length of restoration path.

Key words: pre-planning; pre-configured; mesh network; restoration strategy

1 引言

随着通信基础设施规模及其在社会生活中重要性的增长, 在设计可靠高速骨干网络时必须注意考虑下面的几个重要目标: 可扩展性、分布性、恢复速度、资源利用率. 此处的可扩展性是指所涉及到的保护/恢复策略要能适应各种网络拓扑结构, 并且能满足网络对恢复路由的要求. 分布性是指在故障发生后, 通过网元设备之间的信令交互和动态的分布式方式来完成恢复. 恢复速度是指对于不同的业务, 能够为其提供相匹配的恢复手段. 而资源利用率的高低, 直接影响着运营商的收益和在激烈竞争环境下的生存能力.

本文提出一种力图满足上述要求的恢复策略. 全文的组织如下: 第 2 节简单介绍国内外的相关工作, 接下一节提出一种将预先配置和预先规划方式相结合的方案并给出相应的计算机模拟结果, 最后是小结.

2 相关工作

跨段故障是宽带骨干传送网络中最常见的故障. 在恢复路由由配置方面, 国际上常用的有三种方式^[1-3], 动态搜索, 预先规划和预先配置. 动态搜索策略^[4]在故障发生后, 实时地

在冗余网络中搜寻备用路由并进行动态配置. 预先规划^[5]策略通过对可能的故障预先计算恢复路由, 故障发生时, 节点按保存的备用路由完成动态配置. 预先配置^[6,7]策略, 在故障发生前, 已完成对备用路由的配置, 故障时, 受损链路的端节点通过简单的信令来完成倒换, 备用路由的中间节点不再需要进行动态交叉连接.

在下面的讨论中, 按惯例进行如下约定: mesh 拓扑通信物理网络中, 每条链路(跨段)包括 2 根或 4 根光纤. 在 4 纤网络系统中, 一对光纤作为主用光纤, 承载业务信号, 另一对光纤作为备用光纤, 用于故障保护. 每条光纤的带宽被划分为若干的通道, 相邻光纤中通道可以进行任意交换, 在 WDM 网络中, 意味进行全波长变换.

按照跨段恢复策略的四个目标, 表 1 列出了上述几种跨段恢复策略性能优劣. 可见它们均不能完全满足应用目标的要求.

表 1 各种基于跨段恢复策略的比较:
动态恢复、预先规划、预先配置

	动态恢复	预先规划	预先配置
可扩展型	好	较好	好/较好/差
分布性	好	好	好
恢复速度	慢	较快	快
资源利用率	高	较高	较低

3 预先配置和预先规划的结合方案

3.1 网络模型

本节详细介绍我们所提出的预先配置和预先规划相结合的方案,并考察备用资源它用率(备用资源用于传送其它业务的比率)同恢复路由由长度等因素之间的关系.假定通信网络是任意的二连通 MESH 网络,它是由节点和边组成的图 $G(E, V)$. E, V 分别代表网络图的边集和节点集. W_i 表示边 i 上的工作通道数, S_i 表示边 i 上的备用通道数. 一个通道表示一对单向的传输信道,且网络中各边的容量相等,即: $W_i = W_j, S_i = S_j, S_i = W_i, P_{i,j} = X_j$ and $i, j \in E$.

在上述网络模型中,除了需要对每条边的工作通道进行单跨段故障的 100% 保护/恢复以外,还需考察备用通道承载非保护业务的情况.提出这种混合方案的出发点是:网络运营商面临的是一个服务质量要求有差别的市场,谁能在更好地提供差异化服务的同时提高资源利用率,谁就能获得更大的收益.

3.1.2 使用术语

主用通道:是指网络边中的工作通道,在故障情况下,必须能够最大限度地恢复.

可抢占非保护通道:是指网络中的部分备用通道,它们在网络正常运行时,可用于传送非保护业务,当故障发生时,将被用于恢复受损的主用通道.

一般非保护通道:是指网络中的部分备用通道,它们在网络正常运行时,用于传送非保护业务;但不同于可抢占保护通道,当故障发生时,他们将不用于恢复受损的主用通道.

保护通道:是指网络中的部分备用通道,它们在网络正常运行时,也不能用于承载非保护业务,以便在故障恢复情况下,为受损的主用通道提供最快速的保护.

恢复通道:是指网络中的部分备用通道,在网络正常运行时,可用于传送可抢占非保护业务.

相对保护率:是指对给定的备用网络容量,在预先配置后,所能够提供的最大可保护工作通道数与占用的备用网络容量的比率.

绝对保护率:是指对给定的备用网络容量,在预先配置后,被保护工作通道数同网络总工作容量的比率.

3.1.3 预先配置和预先规划相结合的策略

针对上述网络模型,在给定每条边的备用资源用于保护的使用量上限的前提条件下,第一阶段,先采用 P2CYCLE^[8]方法对其进行预先配置计算;第二阶段,对剩余的网络用不同的技术并采用下述统一的启发式算法进行预先规划计算.在进行计算前,先将网络 $G(E, V)$ 分成备用容量网络 $G_s(E, V)$, $S_i = N P_{i \in E}$ 和主用容量网络 $G_w(E, V)$, $W_i = N P_{i \in E}$. 然后从 G_w 中减去可以被保护的工作通道,得到剩余工作容量网络 $G_w(E, V)$, $W_i =$ 未被保护的工作通道数, $P_{i \in E}$. 采用的规划技术有:圈覆盖、P2CYCLE 覆盖、最短路覆盖.

step1:在完成预先配置计算的网路中,对剩余工作网络的边集按容量进行降序排列:获得降序工作边集合 $2W$. 并设每条边的恢复用量为 0

step4, 否则,选取集合中的第一条边 L ;按如下方式为边 L 构造备用容量网络 G^* :

step2a: 设 $G^* = G_s$, 在 G^* 中,对所有边的备用容量进行调整,在每条边的备用容量中减去用于保护边 L 上的工作通道而预先配置的 P2CYCLE 的容量. 如果 $J \in G^*$, 且可为 L 边上的工作通道提供保护而预先配置的 P2CYCLE 中有 N_j 个包含 J 边; 则 $S_j = S_j - N_j$. 如果不存在这样的 P2CYCLE, 则 N_j 为 0

step2b: 在调整后的 G^* 中,构造满足备用路由长度限制的能为 L 边上剩余工作容量提供完全恢复的方案集合 P . 对于圈覆盖技术和 P2CYCLE 覆盖技术,取所有包含 L 边且满足备用路由由长度限制的圈. 对于最短路覆盖,选取包含 L 边的最小长度圈集. 设每个方案的容量等于边 L 上所剩余的工作通道数 W_L

step3: 遍历所有的方案,从中找出可以在剩余工作网络中恢复最多工作通道数的方案 P_{max} ; 修改剩余工作网络,删除包含在 P_{max} 中的边,并从 W 中删除相关元素; 修改所有边 $K \in P_{max}$ 的恢复容量 = $\max(\text{源恢复容量}, W_L + N_K)^X$, 返回 step2

step4: 设置边的保护通道数 = 包含此边的预先配置的 P2CYCLE 数量; 设置边的恢复通道数 = 边的恢复容量 / 2 边的保护通道数; 设置边的非保护通道数 = $S_i / 2$ 边的恢复容量, 算法结束.

在我们所提出的两阶段混合策略中,不再考虑具体的网络业务量的规划安排问题,使整体网络规划问题更趋简化;国际上对预先规划的研究,主要集中在:给定工作网络或业务量矩阵前提下,如何使备用或总容量的需求最少上.就我们所知,还没有文献对一般非保护通道子网连通性能进行过研究和讨论.而网络中一般非保护通道子网的连通性能是刻画网络备用资源利用情况的一个重要指标.在保护率相同的前提下,如果这种子网的连通性能越高、容量越大,说明网络备用资源的利用率越高.我们提出的解决此复杂问题的启发式算法,简单、高效.通过两阶段混合策略的应用,可以方便地得出网络保护的使用量上限、保护/恢复路由由长度与网络绝对/相对保护率和一般非保护通道子网/可抢占非保护通道子网连通性能之间的关系.下面是通过 4 个实验网络对上述策略算法的仿真结果.

4 计算机仿真结果

用于仿真计算的具体网络拓扑信息见表 2. NET1 是 / European community project mode10 网络, NET2 是 / US long hual net2 work0, NET3 是文献[14]使用到的 MCI 网络, NET4 为广泛应用的网络模型/ NEW Jersey LATA0. 设定网络中各边的工作通道数和备用通道数分别为 60. 用于

表 2 实验用网络拓扑信息表

网络	节点数	跨段数	平均度数
NET1	14	21	3.00
NET2	24	43	3.58
NET3	53	79	2.98
NET4	11	23	4.18

$X = \text{Max}(X, Y)$ 表示取 X, Y 中的大数.

保护的备用资源上限的设置分为 9 个等级, 从 10% 到 90%。保护/恢复路由长度限制与备用资源的利用率有紧密的关系, 并直接影响到算法的计算规模和时间。设定最大保护/恢复路由长度限制为 12 跳。

为了考察网络的一般非保护通道子网的连通性, 我们引入连通因子的概念。连通因子是用于刻画网络中具有某类相同特性边集的连通性能的指标, 定义为:

$$C_{\text{factor}}^{\text{gen}} = \frac{\sum_{j=1}^{\text{连通子集数}} (\text{子集 } j \text{ 包含的边数} / |E|)}{\#(\text{子集 } j \text{ 包含的边数})}$$

对于一般非保护通道, 除了要考察它的连通因子外, 还要考察它们的总体容量, 定义简单的测量项: 一般非保护通道比率(R_g) = (一般非保护通道总量) / (总备用通道总数)。

由于篇幅的限制, 模拟程序产生的大量数据和根据这些数据产生的图表不能全部包含在文章中。下面仅依据数据给出讨论。

首先是相对比率值, 它反应了在预先规划计算结束后, 一般非保护通道容量同可抢占非保护通道容量之间的分配关系。在同一预先配置过程计算后, 比率值越大, 说明用于一般非保护通道的备用资源相对越多。从模拟数据可以得出随着备用通路长度限制的增加, 三种规划技术所得到的相对比率呈增长趋势, 一般情况下, P2CYCLE 技术具有最大值。用于预先配置的备用通道上限值越低时, P2CYCLE 技术下的比率值同其他两种技术的差值越大, 但随着上限值的增加, P2CYCLE 技术同 CYCLE 技术的差异在逐步减小。90% 上限值数据下, P2CYCLE 技术同 CYCLE 技术已经完全等同。这说明, 预先配置过程已经恢复了决大多数的通道, 使得在剩余网络中, P2CYCLE 技术已无任何优势, 其性能相当于 CYCLE 技术。所以, 在高上限情况下, 预先规划方案可以选择实现技术更成熟并且更简单的环恢复技术。

对于一般非保护通道子网络连通性能同保护路由长度及备用资源使用上限之间的关系。有以下的实验结论, NET1, 在低上限情况下(10%~230%), 一般非保护通道子网联通系数很低, 小于 6。当在高上限值(60%~90%)时, 在备用通路长度大于 9 时, CYCLE 和 P2CYCLE 方式下, 一般非保护通道子网联通系数已接近最大值 21。而对于 NET2, 在高上限条件下, 即使在最短备用路由长度值, 也已经接近于最大值 43。

但在低上限情况下, 呈锯齿变化, 在实际应用选择中, 应注意选择适当的备用通路长度值。NET3 低上限情况下, 连通系数很低。而在 60% 情况下, 其值也只有最大值的 30%。这可能同 NET3 的低连通度有关。NET4 由于连通度很高, 即使在低上限情况下, 也能随着备用路由长度的增加迅速接近最大值 23。

综上所述, 为了更合理地安排、配置网络的有限资源, 需要根据网络的实际拓扑结构, 网络服务以及成本的要求, 来选择不同的恢复技术和备用路由的长度等参数值。

5 小结

本文提出了一种在固定链路容量 MESH 网络中的链路恢复方案, 这种方法结合预先配置和预先规划的优点, 能为网络

提供差异化的服务给出指导; 对网络中的最高优先级业务提供快速保护, 并为次优先级提供快速恢复; 此外还可更充分利用备用资源。使备用资源不仅可以用于为主用工作通道提供保护/恢复, 还能够用于承载非保护业务。文中根据当前国内外电信业务发展的趋势, 将非保护业务分为一般非保护业务和可抢占非保护业务, 并考察了他们同网络中保护率的关系。运营商可以根据文中给定的方法对网络进行规划, 根据实际情况, 通过不同得选择来达到最好的效果。

参考文献:

- [1] Selfhealing Networks for SDH and ATM[J]. IEEE Communications Magazine, 1995, 33(9): 12107.
- [2] B T Doshi, S Dravida, P Harshavardhana, et al. Optical network design and restoration[J]. Bell Labs Technical Journal, January-March, 1999: 59- 84.
- [3] B A Coan, et al. Using distributed topology update and preplanned configurations to achieve trunk network survivability[J]. IEEE Transactions on Reliability, 1991, 40(4): 404- 416.
- [4] M Herzberg, S J Bye, A Utano. The hop2limit approach for spare2capacity assignment in survivable networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1995, 3(6): 775- 784.
- [5] J E Baker. A distributed link restoration algorithm with robust preplanning[A]. Proc. IEEE GLOBECOM 91[C]. Phoenix, AZ, USA, 1991. 306- 311.
- [6] W D Grover, M H Macgregor. Potential for sparecapacity preconnections to reduce crossconnection workloads in mesh2restorable networks[J]. Electronics letters, 1994, 30(3): 194- 195.
- [7] M H MacGregor, W D Grover, K Ryhorchuk. Optimal spare capacity preconfiguration for faster restoration of mesh network[J]. Journal of Network and Systems Management, 1997, 5(2): 159- 171.
- [8] W D Grover, D Stamatelakis. Selforganizing closed path configuration of restoration capacity in broadband mesh transport networks[A]. CCBR 98[C]. Ottawa, Canada. June 1998. 21- 24.

作者简介:



石 兵 男, 1969 年 1 月生于四川成都市, 博士研究生, 主要研究领域为通信网容错、人工智能、计算机网络分布对象技术和并行处理, 已在相关领域发表期刊和国际会议文章多篇。



周明天 男, 1939 年生于广西容县, 教授, 博士生导师, 中国电子学会会士, 主要从事计算机网络、分布对象技术和并行处理、人工神经网络等研究。