

宽带通信网络中的保护/恢复机制^{*}

Protection/Restoration Mechanism for Broadband Transport Network

石 兵^{1,2} 周明天¹ 李兴明²

(电子科技大学 成都610054)¹ (大唐电信光通信分公司 成都610062)²

Abstract This essay introduces the network model, method, control structure and algorithm of protection/restoration for broadband transport network, and points out the problems needed to study further.

Keywords Network, Protection/restoration

1. 前言

对于电信网络的用户和网络营运商而言,网络的抗毁能力是极其重要的。现代社会生活的各个方面都越来越依赖于通信网络,特别是骨干网络的可靠运行。事实上,电信业务的所有服务,逻辑网络,包括 Internet,都共享数目相对较小的骨干光纤传送网络。北美地区骨干光纤遭受破坏的频率比人们预想的高很多,经济损失也很大^[1]。在中国,也时有国家骨干光纤遭受破坏的报道。因此,现代通信网络的生存性能已成为网络规划的重要组成部分。目前已有大量的文献对电信网络的生存性问题进行了研究。包括对光传送网络的生存性问题进行的研究^[2~5,13~14],和对电路交换网络的抗毁进行的广泛研究^[6~12]。本文将主要对这些技术,特别是在 mesh 网络中的恢复技术,进行回顾和总结。

网络的生存性结构中通常采用的方式有两种:保护和恢复。在保护方案中,网络在进行工作通路分配的同时,对备用通路进行配置。当工作通路发生故障时,网络设备通过一定的检测方法和策略将工作通路切换到备用通路上,实现对受损通路的恢复。这种方式的特点是快速^[1]。在恢复方案中,网络在检测到故障后,再动态地在网络中搜索备用资源,从而建立备用通路。如果能够建立备用通路,则对受损业务进行恢复,否则将其阻塞。相比之下,动态的恢复方案在资源利用方面效率更高。

链路失效是光纤网络中的常见故障,文[2]对单链路故障下各种保护/恢复方案进行了分类:链路的恢复/保护,通路的恢复/保护方案。每种方案又可分为预先设定备用路由和动态路由计算两种方式:在预先设定路由策略中,又有专用和共享备用路由之分,并且备用

路由的计算还有集中和分布式之分,表1给出了各种方案的示意:

表1 单链路故障时可能的恢复/保护方案

恢复/保护方式	备用路由的选择方式	备用路由的计算方法
链路恢复/保护	共享型	预先设定备用路由 动态路由计算(恢复)
	专用型	预先设定备用路由 —
通路恢复/保护	共享型	预先设定备用路由 动态路由计算(恢复)
	专用型	预先设定备用路由 —

对于一种恢复策略的评估通常是通过下面的四个重用性能指标来衡量的:恢复速度、可恢复性、资源利用率和算法的可扩展性^[13]。

恢复速度:可由故障发生到故障恢复所需要的时间间隔来刻画。可恢复性:指提出的方法可以对何种故障进行恢复,如对链路、节点以及多故障等的处理能力。可扩展性:是指对路由的计算和恢复的时间在网络规模的扩大及业务请求数量增长的情况下,保持在可以接受的范围内。资源利用率:可以通过以下的几个参数来刻画,1)在给定网络容量,点到点的业务和每个业务的初始通路信息的前提下,所能恢复的业务数量。2)在给定网络点到点的业务和每个业务的初始通路信息的前提下,对网络业务进行100%的保护所需要的备用网络容量。3)在给定点到点的业务及对所有业务进行100%保护的前提下,所需要的总的网络容量。

2. 通信网络的保护/恢复机制

在文[16]中作者对电信网络的恢复时间进行了分

^{*} 本文的工作得到四川省重点科技公关项目的支持。

级,指出当网络提供的恢复时间延迟 $<50\text{ms}$ 时,就可以满足绝大多数服务的要求,但一般的基于交叉连接设备的 mesh 网络的恢复机制难于达到此要求,只有 DP(DIVERSE PROTECTION)和 SELF-HEALING RINGS 等保护方式可以满足此要求。文章指出当恢复时延在 $2\text{s}\sim 10\text{s}$ 之间时,绝大多数业务都将受到影响。因此 mesh 网络的恢复机制就是要将故障的恢复时间努力限制在 $50\text{ms}\sim 2\text{s}$ 之间,并且使备用资源开销尽可能接近理论最小值。

2.1 抗毁网络的一般模型

最快的恢复策略是将业务信号同时在两条不相交的物理路径上传输—— $1+1$ DP,这种方式需要 100% 的冗余备份。另一种同 $1+1$ DP 方式相似的方案是单向通路倒换环——UPSR(unidirectional path-switched ring),将业务节点组成一个高带宽的环网,为每个业务提供 $1+1$ DP,还有一种共享保护环,双向复用段倒换环——BLSR(bi-directional line-switched ring),整个环由两个单向反向环组成,结点间的双工业务信号通过两点间的最短路,使用复用段共享保护,这种方式可以比 UPSR 方式有更高的资源利用率,并且可在 $50\sim 150\text{ms}$ 恢复任何的单链路故障^[17]。

另一类具有抗毁能力的网络结构模型就是 mesh 网络, mesh 网络可以提供更高的资源利用率和更强的抵御多故障的能力。因此,在长途干线网络中通常采用 mesh 网状结构组网。在 mesh 网络中设计网络的生存性能往往同资源的利用率相关,即选择 mesh 结构,就是要利用它的全网备用容量共享的特性。但通常会在算法的复杂度、资源的利用率上进行折衷,以求得平衡。文[20]对基于 SDH 的通信网络的各种抗毁网络结构的抗毁能力和建设费用进行了比较。

2.2 网络的保护/恢复方案

从表1中可以看出网络的故障处理可分为基于链路的和基于通路的两种形式^[3,12]。

·链路保护/恢复方案 在链路保护/恢复方案中,所有途径故障链路的业务都需要重新选路以避免故障链路,但是在重新路由时,受损业务通路的其它路由途径并不改变,只在受损链路的端节点间重新选择备用路由,而不影响业务通路的端节点。在链路保护中,在为一个业务建立主通路时,必须针对该主通路上的每条链路准备一条备用路由。故障链路的端节点负责在发生故障后,将受损业务倒向备用路由。在链路恢复中,故障链路的端节点应按照预先设定的规则为经过该链路的所有业务通路利用网络中的备用容量寻找备用路由。如果找不到备用路由,则阻塞相应的业务。

·通路保护/恢复方案 通路保护/恢复提供业务的端到端的恢复。在通路保护中,在每个业务的主要通

路建立的同时,就已经准备了一条端到端的备用通路;而在通路恢复中,途经故障链路的业务将动态地寻找一条端到端的备用路由以避免故障链路。

基于通路的方式,可恢复性更高。这是因为这种方式是基于端到端的恢复,并不在意业务通路上是某条链路受损,途中节点受损,还是多条链路受损。而基于链路的方式,恢复的速度更快,但对节点故障就无能为力。有些文章对这种方式进行了改进,以便在基于链路的方式下对节点和多链路故障进行恢复^[13]。

文[14]探讨了基于 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)的光传送网络将两种方式相结合的问题,文[12]提出了一种折衷方式:在发生链路故障时,受损业务从一个故障节点开始,搜索到目标节点的新路由。这样从另一故障点到业务源节点的路由不用改变,并且从一受损节点开始,可以搜寻到目标节点的最佳路径,从而既可以获得比通路恢复更好的时间性能,又可以减少链路恢复的资源占用。从作者的实验表明,在资源消耗和恢复时间上,这种方式都处于上述两种方式的之间。详情可参考原文。下面对三种方式进行图示说明:

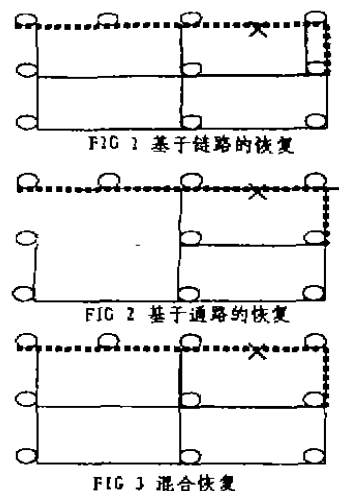


图1

图1中,粗虚线代表节点对之间的初始路径,细虚线代表故障下的恢复路径。从图中可以看出,基于链路的恢复,可能出现恢复通路的环回,浪费重叠链路的资源;基于通路的恢复,将对更多的网络节点产生影响,需要更长的恢复时间。而混合方式可以利用原通路的一部分路由,以减少对其它网络节点的影响;对另一部分进行重新路由,又可提高备用资源的利用率。

2.3 网络故障恢复的控制结构

可将网络故障恢复的控制结构分为以下几种方式^[6,13,19]:

1)集中控制方式:其特点是,控制中心在了解网络全局拓扑的情况下进行计算,可以获得更优的结果。但这种方式需要网络节点在故障情况下有可靠的数据传输通路同中心控制节点相连,以便将网络的变化传送到中心,并获得中心的恢复命令。在集中控制方式中,关键在于开发具有更好响应时间、更高资源利用率的算法,以合理分配网络带宽。单纯的完全集中控制,在网络发生故障后,中心控制节点开始进行实时的计算或在预先计算好的恢复路由表中进行查找,然后将新的路由控制信息下载到各相关节点,实现恢复。这种方式一般来说速度不能满足应用的要求,在如何使中心控制节点准确地反映网络,特别是大型网络当前状态方面也存在很大困难^[8]。

2)分布式控制方式:与前一种方式相比,可以获得更高的恢复速度,但由于计算节点缺少全局信息,往往不能获得最优的资源利用效率。其固有的快速恢复和抗毁能力,使其成为重点研究的一种方式,并在基于DWDM的光传送网络中,继续被研究和改进。一般的分布式控制方式指的是:当网络发生故障时,恢复算法在网络中各节点运行,动态地在网络的共享备用资源中寻找备用路由。其研究的重点在于,如何设计恢复算法中恢复消息的扩散方式以及选用备用路由的策略。一般对于分布式控制方式的评估指标为:达到设定恢复率的情况下的平均恢复时间。由此可见,集中控制侧重在资源利用率上,而分布式控制侧重在恢复的时效上。

3)混合方式:将上两种方式的优点加以综合,以期达到速度和资源利用的最优结果。其具体实施方案是对网络的备用路由进行集中计算,然后将路由信息下载到各网络节点进行分布式的恢复控制。这种方式的一个弱点是,如果网络规模很大,所考虑的故障种类很多,那么在各节点上所需存储的恢复路由表将变得非常庞大。并且,在全网各节点之间保持网络信息的一致性,也是一个研究的难点。

对集中控制和分布式控制的比较如下^[21]:

分布式控制	集中控制
FLOODING(淹没扩散)	所有的数据和决策规则
技术需要更多的通讯时间	集中在一处
消息传递可能丢失和延迟(一般算法假设有可靠数据控制传输通道)	只涉及在一个系统内部的数据传递
需要所有节点有标准的算法和消息协议	只需要有标准的消息传递规则,适用于不同的设备混合组网的方式
性能依赖于网络拓扑,超时设定,搜索路径跳数。	性能依赖于中央控制器和消息传输时间

2.4 网络故障恢复的控制算法

·分布式算法 一般分为三个步骤^[8-12],并将节点分为三类,SENDER,CHOOSEER节点,分别指受损链路或业务的端节点,按照一定的原则进行划分,如比较节点的标识,一个节点为SENDER节点,另一节点便成为CHOOSEER节点。网络中其余节点称为TANDEM节点。当网络发生故障后,依次经历以下三个步骤实现故障恢复。

1)广播阶段:SENDER向所有的邻节点发送恢复请求消息,并等待从CHOOSEER传回确认信息。接收到恢复消息的TANDEM节点检查消息经过的路径的跳数,如果超过规定值或者已收到具有相同消息标识的消息,则反向发送撤消命令,否则继续向其邻接点转发。如果CHOOSEER节点收到恢复请求消息,便可确认存在从SENDER到CHOOSEER的可选路由,然后就发送对请求消息的确认。

2)确认阶段:CHOOSEER沿恢复消息的路径发送确认消息。

3)再确认阶段:当SENDER收到确认消息后,便再次确认,并对路径结点进行配置,将受损任务切换到恢复路由上。完成恢复。

在进行分布式通路恢复时,在执行上面的步骤之前,应该将受损业务占用的资源先释放掉,然后再开始进行备用路由的搜索。

文[6]中的基于链路的分布式恢复算法按业务粒度进行恢复路由的寻径,使用FLOODING技术进行控制消息的广播,这使得网络中传输的控制消息很大,造成消息的排队延迟。文[7]在文[6]的基础上提出了一种改进方法,其主要的改进在于广播消息的选择性扩散,减少网络中消息的传送量,另一方面使一条恢复路由可恢复多个业务通路。当CHOOSEER节点收到恢复消息后,不是立即发送确认消息,而是等待一个时间间隔,然后在收到的消息中选择容量最大,路径最短的消息进行确认。SENDER节点需要进行超时设置。对超时设置的讨论可参考原文。文[8]提出了一种可对多链路故障和节点故障进行处理的策略,它与以前的算法不同的地方在于:每个节点对于通过它的业务知道其通路上游两跳的节点信息,而不只是其相邻接点的信息。这种方式在恢复消息中,携带上多个目标地址。为了实现多目的地恢复,需要路径检测机制,作者提出,在通路开销中增加两个节点标识的空间,在通路建立时通过的每个节点,节点用自己的标识替代其前驱的标识。基于通路的恢复可参考文[25]。目前的研究工作主要集中在,如何开发能够接近最佳资源利用率的分布式恢复算法上。

·恢复路由的集中式计算算法 在集中式恢复路

由计算的算法中,主要是按不同的优化指标对备用通路进行分配。文[9]提出的恢复路由分配算法,运用图论中最大流、最小割理论,运用线性规划(LP)的方法求解,然后通过一个简单的启发式算法对规划的解取整数解。文[10]运用模拟退火算法进行求解。文[11]提出了一种基于k条最短路径恢复的启发式备用容量分配算法,从作者的结果可以看出这种方式具有接近最优的结果。同LP算法相比较,这种算法可以提供冗余容量和可恢复量之间的定量关系,并且不必像文[11]中方法,在使用LP算法后,还要进行整数化调整。本文的算法包括两个步骤:第一步,FS(FOR-WORK SYNTHESIS)——增加各条链路上的备用容量值,计算是否带来了可恢复量的增加,并选择增加量最大的一条加入到现行网络中,重复该过程,直到恢复量达到要求的水平。第二步,DT(DESIGN TIGHTENING)——依次删除备用容量,看是否减小可恢复量,如果不减小,就认为是多余的备用容量,并予以删除,否则不删除。文[24]给出了文[9]、[11]中两种算法的比较,从其计算结果可以看出,LP算法比文[11]中的启发式算法所需的备用容量更小,而计算时间更长。其中的一个研究重点是开发性能更好的启发式算法。

在混合控制结构中,由于备用路由信息要下载到各网络节点,所以其中的集中算法还要考虑算法产生的恢复路由表的大小。一般通过以下的方法:限定恢复路由的跳数^[18];使用节点不相交的恢复通路,这样一条恢复通路就可以适应在源通路上的任何故障,这样可有效地减小恢复路由表的大小。

对于备用路由的分配算法,可以用如下方式加以描述:

目标函数为:全网络的备用容量之和最小,或网络的恢复率最高。

限制条件:

- 1) 备用路由的跳数小于规定值;
- 2) 每条链路上的主通路和备用通路容量之和不能超过链路容量;
- 3) 对于每个故障而言,恢复通路应等于受损通路;(100%恢复);
- 4) 具体的其他限制条件,如恢复路由与源路由不相交等。

文[2]对WDM光传送网络,给出了基于不同恢复方案的备用路由的分配算法的公式描述。

3. 需要进一步研究的问题

以上所提到的关于网络生存性的研究主要是针对某一网络层(如SDH、ATM或电路交换)而进行的。而现实中,通信网络呈现一种多层面的结构。如低层是

DWDM传送网络,在之上是已有的或将建立的SDH网络,在SDH网络之上可能有IP和ATM网络。而各层又有自己独立的生存性策略,在这种情况下需要一种综合的策略。这种将多层的保护机制相结合的策略称为——ESCALATION STRATEGIES^[25]。这是目前研究的一个重点方向。

对于多层的恢复问题,首先需要提出的是,对于故障,应该由那一层来进行恢复?

1. 在低层进行恢复

在最靠近故障发生的地方进行恢复,如光纤切断在光层进行恢复,SDH设备故障在SDH层进行恢复,ATM设备故障在ATM层进行恢复。此时就需要提供相应的协调机制,来定位故障的位置,并协调各层启用相应的恢复机制。如不能很好地协调,将造成资源的浪费。因为,如果低层的恢复时间超过上层故障的检测时间,将同时触发上层的恢复机制,同时在上、下层占用备用资源。

2. 在高层进行恢复

在高层进行恢复,及在靠近业务流量的网络层进行恢复,高层的恢复可以解决由低层故障引起的业务中断。高层恢复的特点:

- 可以方便地对业务进行优先级划分,并制定不同的恢复策略。
- 可以避免各层协调的复杂性。
- 但由于下层的故障可能导致上层的受损业务量巨大,所以恢复可能较慢。

多层协作进行恢复,涉及如何启动多个恢复策略和如何组织他们的运行序列。在哪一层开始恢复,在何时通知下一层开始相应的工作?

对于单层网络的恢复机制,更接近实际应用的情况应该是在网络中引入多种恢复策略以保证不同的业务恢复需求。在这种情况下,需对各种恢复策略的协调机制进行研究。我们将在多层抗毁和多恢复策略方面进行进一步的研究。

结束语 在现代信息社会中,社会生活的方方面面都显示了对通信网络可靠性的越来越强的依赖。因此,通信网络的可靠性已成为网络设计规划的重要方面。本文对通信网络的保护/恢复机制进行了简要的阐述,并对仍需加以解决的问题进行了说明。

参 考 文 献

- 1 McDonald J C. Public Network Integrity-Avoiding a Crisis in Trust. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1994, 12(1)
- 2 Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable WDM Mesh Networks, Part I-Protection. Proc., INFOCOM'99, 1999, 2:744~751

- 3 Flanagan T. Fiber Network Survivability. IEEE Communications Magazine, June, 1990, 46~53
- 4 OPTICAL RESTORATION: 1, OFC'98, VOL. 2, PP. 269~301
- 5 Demester P, Gryseels M, et al. Resilience in Multilayer Networks. IEEE Communications Magazine, August, 1990, 70~76
- 6 Grover W D. The Selfhealing Network-A Fast Distributed Restoration Technique For Networks Using Digital Cross-connect Machines. Proc., IEEE Globecom'87, 1987, pp. 28. 2. 1~28. 2. 6
- 7 Yang C H, Hasegawa S. Fitness Failure Immunization Technology For Network Service Survivability. Proc., IEEE Globecom'88, pp. 1549~1554
- 8 Kome H, et al. A distributed restoration algorithm for multiple-link and node failures of transport networks. proc., IEEE Globecom'90, San Diego, CA, December 1990. 459~463
- 9 Sakauchi H, Nishimura Y, Hasegawa S. A Self-Healing Network With An Economical Spare-Channel Assignment. Proc., IEEE Globecom'90, San Diego, Ca, Dec. 1990. 438~443
- 10 Coan B A, et al. Using Distributed Topology Update And Preplanned Configurations To Achieve Trunk Network Survivability. IEEE Transactions On Reliability, 1991, 40 (4). 404~416
- 11 Grover W D, Billoreau T D, Venables B D. Near Optimal Spare Capacity Planning In A Mesh Restorable Network. proc IEEE Globecom'91, 1991. 2007~2012
- 12 Anderson J, et al. Fast Restoration of ATM Networks. IEEE JASC, 1994, 12(1), 128~137
- 13 Doshi B T, Dravida S, Harshavardhana P, et al. Optical Network Design and Restoration. Bell Labs Technical Journal, January-March, 1999. 59~84
- 14 Ye Yinghua, Dixit S, Ali M. On joint Protecting/Restoration in IP-centric DWDM-based Optical Transport Networks. IEEE Communications Magazine, Jun. 2000. 174~183
- 15 Zolfaghari A, Kaudel F J. Framework for Network Survivability Performance. IEEE JSAC, 1994, 12(1): 46~51
- 16 Sosnosky J. Service Applications For SONET DCS Distributed Restoration. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1994, 12(1): 59~68
- 17 Gerstel O, et al. Combined WDM and SONET Network Design. Proc. INFOCOM'99, 1999, 2: 734~743
- 18 Herzberg M, Bye S J, Utano A. The Hop-Limit Approach for Spare-Capacity Assignment in Survivable Networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1995, 3(6): 775~784
- 19 Falconer W E. Service Assurance in Modern Telecommunications Networks. IEEE Comm. Magazine, June, 1990
- 20 Wu T H, et al. Survivable Network Architectures for Broad-Band Fiber Optic Networks: Model and Performance Comparison. Journal of Lightwave Technology, 1988, 6(11): 1698~1708
- 21 Bellary A, Mizushima K. Intelligent Transport Network Survivability: Study Of Distributed And Centralized Control Techniques Using DCS & ADMS. In: Proc. IEEE GLOBECOM'90, 1990. 1264~1268
- 22 Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable WDM Mesh Networks. Part 11-Restoration. Proc. ICC'99, 1999, 3: 2023~2030
- 23 Kawamura R, Sato K, Tokizawa I. Self-Healing ATM Networks Based on Virtual Path Concept. IEEE JSAC Special Issue, Integrity of public Commu. Networks, 1994, 12 (1): 120~127
- 24 Venables B D, et al. Two Strategies for Spare Capacity Placement in Mesh Restorable Networks. In: proc. ICC'93, 1993. 267~271
- 25 Nederlof L, Struyve K, et al. End-to-End Survivable Broadband Networks. IEEE Comm. Mag., 1995(Sep.): 63~70

(上接第109页)

一个很关键的问题,此方法能很好地解决这个问题,因为它是每个用例为基础来集成概要,而不是将它们直接当作一群无结构化的概要。

概要集成和原型的生成活动都可以用 Java 来实施,大约需要4,000行代码。UI 原型的 Java 代码与界面开发环境 Visual Cafe 完全兼容,可以直接嵌入到可视化环境中。

结论 本文提供了基于概要的用户界面原型开发的一种新的方法,只要用例图附上丰富的 UI 信息就可以获得系统的概要。将用例图转换成 CPN 说明,不论 UI 是静态的还是动态的行为特性都可以从 CPN 规格说明中得到,从此说明就可以生成系统的 UI 原型,所获得的原型提供给最终用户进行有效性验证,逐步接近其目标。

参考文献

- 1 DesignCPN: Version3 Meta Software Corp. <http://www.daimi.aau.dk/~designcpn>
- 2 Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. The unified modeling language user guide: The ultimate tutorial to the UML from the original designers. Addison-Wesley object technology series. 1999
- 3 Kristensen L M, Cristensen S, Jensen K. The Practitioner's Guide to Coloured Petri Nets. Software Tools for Technology Transfer, 1999, 2(2): 98~132
- 4 IBM. XML Parser for Java in Java Report's Feb. 1999. <http://www.alphaworks.ibm.com/formula/xml>
- 5 Elkouti M, Khrtss I, Keller R K. Generating User Interface Prototypes from Scenarios. In: Proc. of the Fourth IEEE Intl. Symposium on Requirements Engineering(RE'99). Limetick, Ireland, June 1999. 150~158
- 6 Symantec, Inc. Visual Cafe for Java, User Guide, Symantec, Inc. 1997