

DCS 网状网自愈的进展¹

苏 驷 希

(北京邮电大学 101 信箱 北京 100876)

摘 要 数字交叉连接系统 (DCS) 网状网是电信传输骨干网的主要拓扑结构。本文讨论了 DCS 网状网自愈的进展, 其中包括 SDH、ATM 和 WDM 网状网自愈, 同时说明了它们之间的相互关系。对电信传输网自愈和电信业务网的关系也进行了讨论。

关键词 自愈, 同步数字系列, 异步转移模式, 互连网, 波分复用

中图分类号 TN913.24

1 概 述

光纤是电信传输网的主要传输媒介, 光纤网络生存性技术是光纤网络发展的重要基础。自愈 (Self-Healing) 是 Grover 在 1987 提出的概念^[1]。基本原理是网络网元具备发现故障并能找到替代路由, 在一定时限内重新建立通信的能力。网络自愈的基础知识可以参考文献 [2]。本文讨论数字交叉连接系统 (DCS, Digital Cross-connect System) 网状网自愈。电信传输网干线网的典型结构为网状网, 网络元素由光纤传输系统和 DCS 组成。当有网络故障发生时, DCS 端点应用集中式 / 分布式控制机制和空闲信道恢复故障通道, 这种恢复可以基于链路层或通道层。自愈恢复协议和 DCS 的性能对网络的自愈时间有着决定性的影响。许多因素影响分布式 DCS 自愈的速度, 主要因素有下面 4 点: (1) CPU 处理消息的时间, (2) 交叉连接时间, (3) 消息传播时间, (4) 故障检测时间。在文献 [3] 中, 详细分析了网络故障对主要几种电信业务的不同影响: 通过分析上述电信业务对网络故障引起的中断时间的敏感性, 将目标恢复时间分为 5 个时限, 即 (1) $0 < t < 50\text{ms}$, (2) $50\text{ms} < t < 200\text{ms}$, (3) $200\text{ms} < t < 2\text{s}$, (4) $2\text{s} < t < 10\text{s}$, (5) $10\text{s} < t < 5\text{min}$ 。

时间是网络自愈恢复的最重要指标。由于网络自愈需要大量的冗余资源, 如何在保证恢复时限的基础上, 节约备用容量是自愈网络研究的另一个基础问题。更为困难的问题是电信传输网各层自愈的协调和配合, 以及与电信管理网 (TMN) 的配合。

电信传输网的体制可以是同步数字系列 (SDH), 或异步转移模式 (ATM)。由于波分复用 (WDM) 和互连网 (internet) 的飞速发展, 未来电信传输网的体制可能为 WDM+SDH+IP (Internet Protocol)、WDM+IP、WDM+ATM+IP 等多种可能。在下文中, 将首先分别讨论 SDH、ATM、WDM 网状网自愈, 然后讨论它们之间的相互关系。因为故障恢复的最终目标是对业务的恢复网络, 所以故障恢复不应该认为仅是电信传输网的任务, 还需要和电信业务网的配合。最后讨论自愈和电信业务网的关系。

2 SDH 网状网自愈

由于集中式 SDH 网状网自愈的恢复时间较长, 一般研究重点为分布式自愈。分布式自愈无需网管系统的干预, 各数据交换控制 (DXC) 节点具有智能, 它们协同操作恢复被破坏的通道。为了完成分布式操作, 需要在各节点之间互通信息, 通常采用网络溢满技术 (Flooding) 或有限制的网络溢满技术。一个典型的“前向溢满、后向预占”三次交互的分布式自愈算法

¹ 1998-12-17 收到, 2000-06-22 定稿

电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室开放课题资助

的原理可简述如下: 在网络发生故障时, 发起自愈操作的源节点 (Sender) 将向所有邻接的节点发出一种求助消息, 用于探查网络内空闲容量的分布情况。该类消息在遇到的每一个节点的所有分支上进一步满溢, 直至到达与 Sender 配合执行自愈操作的宿节点 (Chooser)。Chooser 每收到一条求助消息, 将对消息沿途搜索到的空闲容量进行确认, 并生成一条对应的预约消息, 沿求助消息来的路由返回。在返回过程中, 预约消息将沿途预约一定数量的空闲信道。最后, Sender 生成一条对应的交叉连接消息, 沿预约消息的路由传向 Chooser 方向, 通知路由上的各个中间节点把先前预约的空闲信道转为占用状态, 执行有关的交叉连接操作, 从而在 Sender 和 Chooser 之间建立若干个替换通道, 用以恢复 Sender 与 Chooser 间的被故障中断的通道。

自愈恢复可以基于链路层或通道层, 链路层恢复的工作由故障链路的两端完成, 而通道层恢复由受影响通道的首尾两端完成。两者的差异如表 1 所示。

表 1 链路层恢复和通道层恢复的比较

	链路层恢复	通道层恢复
备用容量	大 (骨干网中不倾向用链路层自愈)	小
恢复速度	快	慢
系统复杂性	简单	复杂
网络规模	网络规模小	网络规模大
网络可靠性	高 (指自愈协议简单)	低
故障类型	不能解决端故障	能解决端故障
复原处理	需要 (网络恢复正常后, 是否需要将迂回的通道复原)	不需要
优先级处理	不能	能

许多自愈协议如文献 [1, 4, 5] 等认为可以在 2s 内完成自愈恢复, 但都忽略了 DCS 的交叉连接时间对自愈的影响。DCS 的性能对网络自愈有着决定性的影响 [6]。目前 SDH 的 DCS 设备完成每次交叉连接的时间对自愈来说较长, 根据 Bellcore 的技术要求 [7], 每个交叉连接能在 1s 内完成就认为是可以接受的。即使假设在 100ms 内完成每次连接, 由于交叉连接是串行执行的, 要对数十个 STM-1(Synchronous Transport Module level 1) 完成交叉连接调整就需要数秒。交叉连接的时间是 SDH 分布式自愈的最重要瓶颈, 不论采用何种方法在整体上达到 2s 的恢复时限是不可能的。CPU 的处理时间是另外一个重要的问题。在通道层自愈恢复时, 同时有许多对端点启动自愈恢复进程, 由于这些进程在 DCS 端点之间传递消息, 通道层自愈时将大量的消息需要处理。对于通道层自愈, 满溢方式传递消息绝对不行, 因为随着网络规模的增大, 消息数目的增加是指数级的。从而对 SDH 骨干网的自愈恢复应该采用限制消息数目的通道层恢复、优先级恢复等, 并且应在网络正常时尽可能做好准备以加快故障恢复速度。

为了节约 DCS 的交叉连接时间, MacGregor 在链路层自愈中采用了一种办法提高自愈速度 [8], 这种办法是在网络的空闲容量中, 预先根据一定规则将空闲通道交叉连接起来, 组成一定的结构, 如一些圈等。当网络故障发生时, 故障链路的两端负责恢复受损的链路; 假如这两个端点在某一个圈上, 那么, 根据这个圈上的空闲容量的大小, 受损链路的两端迅速将部分受损通道倒换到圈上。由于这部分通道的恢复没有在中 DCS 端点上执行交叉连接, 因此恢复时间很快, 完全能够达到第 3 恢复时限; 余下没有恢复的通道用实时分布式链路层自愈来恢复, 可能的恢复时限为第 4 时限。这个方法能够使部分通道在 2s 的时限内完成恢复, 较一般链路层恢复有了一定提高。

文献 [9] 的通道层自愈算法, 一方面能够克服 DCS 交叉连接时间的缓慢, 另一方面避免通道层自愈中产生的大量消息。提出的自愈机制采用优先级恢复, 对高优先级通道用分布式虚倒换方法恢复; 对低优先级通道用分布式选择性路由通道层自愈方法恢复。为实现上述自愈方法, 在网络无故障时, 应用多路由带宽分配算法决定逻辑网和应用消息树传递网络消息, 从而在网络故障时能快速恢复故障。网络故障发生后, 相应端点沿消息树和受损通道传

播故障消息,同时也通知网络管理中心。在第一恢复阶段,对高优先级通道实施分布式虚倒换,在 2s 内完成通道恢复;在第二恢复阶段,实施选择性路由分布式通道层自愈,在第 4 时限内完成对通道的恢复;在第三恢复阶段,网络管理中心实施集中式恢复,恢复时间在第 5 时限。这种方法每个 DCS 端点对网络全局的了解较多,网络需要交互信息,完成各个端点的数据库同步。

虽然一般认为骨干网的典型结构为 DCS 网状网,但也有例外。美国 SPRINT 骨干网主要采用 4 纤复用段倒换环和 WDM^[10]。关于 SDH 网状网自愈的研究大体上在 90 年代中期结束,一方面由于全面改造 SDH 的 DCS 不可能,另一方面是 ATM 和 WDM 技术的发展,使网络背景有了很大变化。对 SDH 网络自愈和相关标准可以参考文献 [11],但直到今天,关于网状网自愈仍然没有标准,由各个网络运营商自己决定。

3 ATM 网状网自愈

ATM 是基于信元的网络技术,被认为是宽带综合网络的传输模式。ATM 自愈的对象一般为 ATM 的虚通道 (VP),VP 与同步转移模式 (STM) 的数字通道有许多不同之处,ATM 是统计复用的,而 STM 是分等级的。ATM VP 的带宽是逻辑上的,可以为任意值,STM 通道的带宽是按等级划分的。STM 通道的建立过程和带宽分配过程是不可分离的,当它沿某条路由由建立时,便在每个交叉连接节点上固定占用了时隙资源。ATM VP 的带宽和路由是独立的,其路由由定义在各个交叉连接节点的 VPI (Virtual path identifier) 翻译表中,而带宽由数据库来管理。一个 VP 可以沿某个路由建立,但不分配资源,即带宽为零,待以后需要时再根据统计复用的原理动态分配。对于 ATM 的 DCS,其交叉连接时间要快许多。ATM 的 DCS 的交换结构与 SDH 的 DCS 时隙互换技术完全不同,采用信元交换技术和自选路由,并且许多交换结构是并行执行的 (如排序 +BANYAN 结构等),其交叉连接速度要快许多。关于 ATM 的基本概况可以参考文献 [12]。ATM 网络自愈的基本方法和 STM 网络类似,但由于 ATM 的一些特点使 ATM 自愈较 STM 自愈有较大优势,并且有独特的自愈方法。关于 ATM 网络自愈的基本知识可以参考文献 [13]。

从故障检测和自愈消息的传送途径来看,ATM 故障检查的速度高于 STM,这是利用了 ATM 信元信头的 HEC (Header Error Control) 检验;另外,ATM 信元信头的 HEC 检验;也为软故障的检查提供了可能。ATM 自愈网消息传输可以利用操作、管理和维护 (OAM) 信元 (F1~F5) 或 AAL (ATM Adaptation Layer)-5 信令,传输速度也大大高于 SDH 网络^[14]。与 STM 自愈相比,ATM 的自愈仅产生很少的自愈消息,使通道层 (网状网) 的自愈成为可能。

ATM 网状网自愈主要有 APS (Automatic Protection Switching), 备用 VP^[15], 故障免疫 (Failure Resistant) VP (FRVP)^[16] 和网状网 (self-healing network) 等,其中备用 VP 和 FRVP 是 ATM 特有技术。备用 VP 方法利用 ATM 的 VP 带宽和路由独立。对需要保护的 VP 可以预先建立一个或数个备用 VP (这些备用 VP 的物理路径不相交),但不分配资源,即带宽为零,网络中的各个备用 VP 依照一定办法共享备用带宽。当网络故障发生后,受损 VP 的两端将业务倒换到备用 VP 上,恢复时间在 60~100ms。这种方法可以给不同的 VP 以不同的保护优先级,同时还可以将备用带宽给低优先级业务 (如 UBR、ABR 等) 应用,有较大的灵活性。备用 VP 方法需要管理好 VPI 资源,同时需要将 VP 分类和管理好备用带宽。

FRVP 方法的基本原理非常简单^[16],并行传输信元。某个逻辑 VP 的信元沿不同的路由传输,接收端收取无故障的信元,将其传输给用户端,同时接收端要完成诸如同步、排序和检测等任务,不同的物理路由应该不相交以对付网络中如光纤这类故障。在子网中,采用 FRVP 自愈技术需要给信元加上一个额外的头以实现并行传输。关于 ATM 网络自愈的综述可以参考文献 [17]。ATM 网状网自愈也无标准,保护倒换的标准见文献 [18]。

由于 WDM 和 Internet 的飞速发展, ATM 是否为 B-ISDN 的传输模式现在受到挑战。根据文献 [19] 的结论, ATM 交换机和光交叉连接系统配合实现高速骨干网有较低的自愈成本, 同时未来传输网的趋势和下面两个事实密切相关: (1) 话音业务流部分或全部从电路交换网络流向 ATM 或 Internet 网络; (2) 专线上的数据流流向 ATM 或 Internet 网络。

4 WDM 网状网自愈

Internet 的飞速发展对通信网的带宽提出了很高的要求, 同时光纤的 WDM 技术使通信容量有了极大的提高。现在已出现光交叉连接 (Optical Layer Cross-Connect, OLXC) 系统能处理线路速率为 0.5Tb/s, 基本交换单位为 10Gb/s。未来电信传输网的结构可能会发生较大变化, 一个主要趋势是简化电信传输网的分层结构。图 1 表明了现在和未来的传输网分层模型, 表 2 做了简单对比 [20]。关于光网络的知识可以参考文献 [21, 22]。

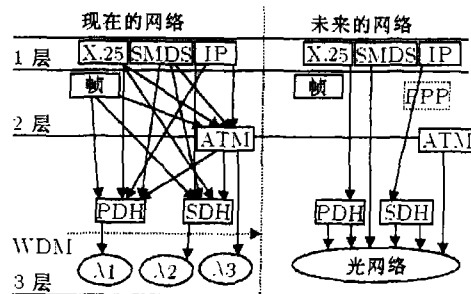


图 1 现在和将来传输网的比较

SMDS: 交换式兆比特业务, PDH: 准同步数字系列, PPP: 点对点协议

表 2 网络结构的比较

现在的网络	未来的网络
复杂的信号映射关系	能用最小的时延满足各种新业务的需要
由于国际标准化过程产生的缓慢	网络功能容易升级
功能性的冲突和重复	良好的开放性

光信号层的保护对象为传输信号的各个波长, 由于容量很大和控制需要简单逻辑, 目前主要为保护倒换, 未来可以应用 OLXC 进行分布式自愈。如果没有 OLXC 而只有点对点 WDM 系统, 网络应该不在这层进行动作, 而将保护恢复的任务由高层完成 [20]。在文献 [23] 中, 提出对一般光网状网的设计和故障恢复方案——WavestarTM。方案为每个波长的恢复预先计算路由, 同时提出端对端故障检测、自愈消息传播和 OLXC 为恢复而执行的交叉连接动作等。光信号层保护的标准目前处于发展之中, 有关内容可以参考文献 [24]。

由于历史发展的原因, 目前电信传输网由多层组成, 如 WDM+SDH+ATM 等, 为了协调各层的功能给网络管理增加了困难, 在网络自愈方面各层之间协作的问题更为突出。如果网络在每层均有自愈功能, 由于上层的备用容量对下层来说是需要保护的工作容量, 从而备用资源较为浪费。另一方面, 故障发生时, 由那一层对故障恢复、故障定位和如何协作等都是很复杂的问题。从网络自愈的方面, 希望网络有简单的层次结构; 但实际上多层次结构会存在相当一段时间, 各层如何协作解决网络自愈是网络自愈目前最重要的问题之一。在文献

[25] 中, 对多层网络自愈提出了许多有益的建议。有关多层网络的管理和自愈方面的国际活动可以参考文献 [26]。

5 传输网自愈和业务网

网络自愈根本目的是保护业务层的信息。从整体上看, 网络自愈不仅是电信传输网的任务, 同时与电信业务网有极大的关系。预计到 2000 年末, 全世界的数据业务将超过话音业务; 长期来看, Internet 业务流将成为未来网络恢复的主要目标。保守一些, 网络恢复的业务流由 Internet 业务流和电路交换业务组成。网络如何实现这两种业务流对网络自愈有重大影响。

如果电路交换网络采用动态无级网技术接续呼叫, 能够极大节约网络经营成本和自愈成本。AT&T 的 RTDR 技术可以依赖 7 号信令系统实时产生呼叫的接续路由^[27]。当网络出现故障时, 业务层并不故意恢复掉线的呼叫, 而是将新的呼叫和重复呼叫迂回接续。这一方面减轻了传输网恢复的压力(可以不用对传输网进行 100% 的恢复), 另一方面的确降低了网络自愈成本^[28]。如果网络是等级网, 业务网没有动态路由技术, 传输网的恢复任务非常困难。Medhi 讨论了如果将业务网和传输网结合一同恢复网络故障的益处^[29]。

Internet 业务流以无连接方式工作, 对网络故障和拥塞有较好的自适应性。Internet 业务流的恢复可以由标记交换或更新的 MPLS(Multi-Protocol Labeled Switching) 标准草案来实现^[30]。未来的 TCP/IP 标准肯定有优先级处理, 能够保证高优先级的 Internet 流在网络拥塞和故障时的传输。考虑到未来 Internet 网络的传输网为大容量的光纤系统和 DCS 组成的网状网, 实现高优先级 Internet 业务流恢复不是困难的事情。如果 Internet 业务流成为电信业务网的主要业务, 那么电信传输网的故障恢复压力将大大减轻, 远小于主要业务为面向连接时的情形。

网络一方面需要高可靠度, 但另一方面业务有不同的优先级需求, 网络只有对不同优先级需求的业务做不同处理才能以合理的成本实现有竞争力的电信网。网络自愈的解决必须理解电信业务网的构成, 注意电信业务网的发展方向, 并且处理好电信传输网和电信业务网配合。

参 考 文 献

- [1] W. D. Grover, The self-healing network, A fast distributed restoration technique for networks using digital crossconnect machines, Proc. IEEE GLOBECOM'87, Tokyo, 1987, 1090-1095.
- [2] T. H. Wu, Fiber Network Service Survivability, New York, Artech House, 1992.
- [3] J. Sosnosky, Service applications for SONET DCS distributed restoration, IEEE J. on Selected Areas in Communications, 1994, SAC-12(1), 59-68.
- [4] H. Sakauchi, *et al.*, A self-healing network with economical spare-channel assignment, Proc. IEEE GLOBECOM'91, Phoenix, Arizona, 1991, 438-443.
- [5] C. H. Yang, FITNESS: A failure immunization technology for network service survivability, Proc. IEEE GLOBECOM '88, Hollywood, Florida, 1988, 1549-1554.
- [6] T. H. Wu T H, *et al.*, The impact of SONET digital cross-connect system architecture on distributed restoration, IEEE J. on Selected Areas in Communications, 1994, SAC-12(1), 79-87.
- [7] Bellcore Tech. Ref. Wideband and broadband digital cross-connect systems generic requirements and objectives, TR-TSY-000233, issue 2, Sept 1989.
- [8] M. H. MacGregor, *et al.*, Optimal spare capacity preconfiguration for faster restoration of mesh networks, Journal of Networks and Systems Management, 1997, 5(2), 159-172.
- [9] 苏骝希, 通信网若干算法的研究: [博士论文], 北京邮电大学, 1999 年 3 月。
- [10] M. L. Jones, *et al.*, Sprint long distance network survivability, Today and tomorrow, IEEE Commun. Mag., 1999, 37(8), 58-62.

- [11] T. H. Wu, Emerging technologies for fiber network survivability, *IEEE Commun. Mag.*, 1995, 34(2), 58-74.
- [12] M. Sexton, A. Reid, *Broadband Networking, ATM, SDH and SONET*, New York, Artech House, 1997.
- [13] T. H. Wu, N. Yoshikai, *ATM Transport and Network Integrity*, New York, Artech House, 1997.
- [14] J. Anderson, *et al.*, Fast restoration of ATM networks, *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1994, SAC-12(1), 128-138.
- [15] R. Kawamura, *et al.*, Self-healing ATM networks based on virtual path concept, *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1994, SAC-12(1), 120-127.
- [16] R. Kawamura, A failure-resistant self-healing scheme in ATM networks, *IEICE Trans. Commun.*, 1998, E81-B(4), 176-182.
- [17] R. Kawamura, Architectures for ATM network survivability, *IEEE Commun. Surveys.*, 1998, [Http://www.comsoc.org/pubs/surveys](http://www.comsoc.org/pubs/surveys).
- [18] ITU-T Rec. I. 630, ATM Protection Switching, February 1999.
- [19] R. D. Doverspike, *et al.*, Future transport network architectures, *IEEE Commun. Mag.*, 1999, 37(8), 96-101.
- [20] Ken-ichi Sato, *et al.*, Photonic transport technologies to create robust backbone networks, *IEEE Commun. Mag.*, 1999, 37(8), 78-87.
- [21] K. Sato, *Advance in Transport Technologies: Photonic Networks, ATM, and SDH*, New York, Artech House, 1996.
- [22] R. W. Tkach, *et al.*, Fundamental limits of optical transparency, *Proc. of the Optical Fiber Communication Conference, OFC '98*, San Jose, CA, Feb, 1998.
- [23] B. T. Doshi, *et al.*, Optical network design and restoration, *Bell Labs Technical Journal*, January-March, 1999, 4(1), 58-84.
- [24] A. McGuire, *et al.*, Standards: The Blueprint for optical networking has arrived, *IEEE Commun. Mag.*, 1998, 36(2), 68-79.
- [25] P. Demeester, *et al.*, Resilience in multilayer networks, *IEEE Commun. Mag.*, 1999, 37(8), 70-77.
- [26] R. Doverspike, Trends in layered network management of ATM, SONET, and WDM technologies for future network survivability and fault management, *Journal of Networks and Systems Management*, 1997, 5(2), 215-220.
- [27] G. R. Ash, Dynamic network evolution, with examples from AT&T's evolving dynamic network, *IEEE Commun. Mag.*, 1995, 33(7), 76-39.
- [28] K. R. Krishnan, *et al.*, Improved survivability with multi-layer dynamic routing, *IEEE Commun. Mag.*, 1995, 33(7), 62-69.
- [29] D. Medhi, A unified approach to network survivability for teletraffic networks: model, algorithm and analysis, *IEEE Trans. on Commun.*, 1994, COM-42(2/3/4), 534-548.
- [30] IETF list of draft contributions at <http://www.ietf.cnri.reston.va.us/ids.by.wg/mpls.html>.

REVIEW OF SELF-HEALING OF DCS MESH NETWORK

Su Sixi

(*Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China*)

Abstract DCS mesh network is the main topology of telecommunication backbone network. In this paper, self-healing of SDH/ATM/WDM DCS mesh network and their relationships are discussed. Relationship of transport network self-healing and service network is also discussed.

Key words Self-healing, Synchronous digital hierarchy, Asynchronous transfer mode, Internet, Wavelength division multiplexing

苏骝希: 男, 1965年生, 博士, 副教授, 主要兴趣为通信网络的优化和自愈, 信息论和编码理论等。