

基于信令控制的网状光网共享恢复策略研究¹

刘爱波 周亚萍 赵继军 纪越峰

(北京邮电大学光通信中心 北京 100876)

摘要: 该文详细研究了基于信令控制的网状光网络共享的分布式恢复策略, 并基于现有的各种信令协议及其扩展给出了具体的实现方案和流程。实验证明, 基于共享的分布式恢复机制能大大提高网络的资源利用率, 有效地缩短恢复时间, 满足了 IP 与光网相互融合的需要, 可用于实现自动交换光网络的分布式恢复。

关键词: 自动交换光网络, 分布式恢复, 网状光网, 生存性

中图分类号: TN919.2, TN929.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)11-1819-06

The Research of Mesh Optical Network Restoration Mechanism with Signaling Control

Liu Ai-bo Zhou Ya-ping Zhao Ji-jun Ji Yue-feng

(Optical Communication Center, Beijing Univ. of Posts and Telecomm., Beijing 100876, China)

Abstract In this paper, A kind of shared restoration mechanism of optical network based on signaling control is discussed in detail, and the implementation scheme using the existing protocol is presented. It is proved by experimentation that the shared mechanism can increase greatly the resource utility, and decrease efficiently the restoration time. The mechanism meet the request of the convergence of IP and optical network, could be applied to the ASON for efficient restoration.

Key words Automatically Switched Optical Network(ASON), Distributed restoration, Mesh optical network, Survivability

1 引言

从 IP over SDH 到 IP over WDM, 数据网和光网不断地走向融合。在这种新的宽带多业务传送平台中, 目前的 IP 技术具有一定的故障处理能力, 但还无法充分保证业务的 QoS, 因此, 光层也需要有效的业务恢复机制以保证网络的可靠性。就光层的生存性而言, 随着 DWDM 光网络的迅速发展, 具有恢复能力的网状光网络将逐渐替代目前的环状光网络, 其原因是环网通常需要 100% 的冗余容量进行故障保护, 而网状网络的恢复将需要少得多的冗余容量且具有高度灵活性^[1]。ITU-T 提出的自动交换光网络 (Automatically Switched Optical Network, ASON) 的概念同传统光网络的本质区别在于采用分布式信令控制, 而不是集中式管理和人工配置^[2]。这种分布式控制为实现快速、高效的光网络恢复机制提供了新思路。基于 ASON 的网络结构, 本文提出并分析了一种信令控制的网状光网络共享式恢复机制, 通过对恢复路由选择、建立和故障管理等方面的综合考虑, 较好地解决了恢复时间和资源利用率之间的矛盾, 能够有效地实现网状光网的分布式恢复, 在提高资源利用率的同时可尽量缩短恢复时间。

2 网状光网的分布式恢复

网状光网的故障处理通常分为保护和恢复两种机制。网状网的保护机制通常是将网状网划

¹ 2003-06-07 收到, 2003-12-23 改回

国家自然科学基金 (90104017), 国家杰出青年基金 (60325104), 国家 863 计划项目 (2003AA122021) 和教育
部重大项目 (0215) 资助课题

分成环形子网和树形子网, 对各子网使用传统的 1+1, $M:N$ 等保护机制, 从而实现整个网络的故障保护。网状网故障保护的实质依然是利用网络资源换取网络的可靠性, 各种保护方式都需要预留资源, 从而大大降低网络资源的利用率。因此, 一个网络中除了采取适当的保护方式外, 一般要采用业务恢复的方法来实现对业务的保护^[1]。

网状网的故障恢复实时处理网络故障, 通过动态的路由重选和重建对业务进行恢复, 可大大提高网络的灵活性, 优化网络资源配置。网状网的故障恢复可分为集中式控制和分布式控制两种方式^[1], 集中式控制是指网络的恢复动作完全由统一的网管或主控节点控制完成, 这种方式有利于网络的最优化, 但由于主控节点记忆的数据量太大、处理的“事务”过多, 速度不高, 不适合于大型网络。分布式控制则需要各节点通过信令交互完成恢复动作, 各个节点处于同等的地位, 处理相对简单, 对故障的反应速度较快, 适合于任何规模的网络, 尤其是大型网络。在光网络规模日益扩大的今天, 光网络的分布式恢复已经成为一项被广为研究的关键技术。

3 基于共享的分布式恢复及其实现

网状光网的分布式恢复虽然具有灵活、高效的特点, 但是其实现机制较为复杂, 并且由于恢复路由的实时计算和建立通常会导致恢复时间较长, 资源的合理利用和较短的恢复时间称为一对难以处理的矛盾。在 ASON 中, 控制平面的引入增加了网络的灵活性和智能性, 光网络连接管理, 资源配置等过程都是在信令的控制下完成的^[2], 这种分布式控制为基于信令的网状网恢复的实现提供了新的思路和方法。为了解决资源利用率和恢复时间之间的矛盾, 可以采用一种基于共享的分布式恢复, 通过共享式路由算法得到共享恢复资源的恢复路径^[1], 提高网络资源利用率, 同时采用恢复路径预计算、快速的建路和故障管理机制尽量提高恢复速度, 从而得到良好的性能结果。下面的部分将就选路、建路和故障管理等方面内容详细论述基于共享的分布式恢复策略及其信令实现过程。

3.1 基于共享的恢复路由选取

在基于共享的分布式恢复策略中, 共享恢复资源的恢复路由选取是提高网络资源利用率的关键。同时, 恢复路由的快速建立也是提高恢复速度的重要手段, 这里将详细描述共享式恢复的选路和建路策略及其信令过程。

3.1.1 选路和建路策略 通常, 恢复路由可通过实时计算和预先计算两种不同的方式得到^[3]。显然, 实时的恢复路由选择能够优化网络资源, 使得网络具有很大的灵活性, 但其缺点也显而易见, 由于恢复路径是在故障发生后才进行计算, 再加上故障定位和路径的建立等过程, 恢复时间会很长, 对于规模大, 结构较为复杂的网络而言, 恢复时间指标可能很难令人满意。因此这种方式适合于规模较小, 对恢复时间指标要求不高的网络中。预先计算恢复路径的方式通常是指在工作路径建立之后就进行恢复路由选择, 需要进行一定的资源预留, 但不预先建立恢复路径。很明显, 这种方式会使得恢复时间比较短, 而资源利用率不是很高。但如果同时采用恢复资源共享策略, 那么问题会得到很好的解决^[1]。在核心光网络, 业务量大且分布相对稳定, 在各种故障中, 单链路或单节点故障概率最大, 因此, 可通过适当的路由算法为网络中的业务进行共享式的恢复资源预留, 这样既保障了业务能迅速地从故障中恢复出来, 又使得网络资源得到了最优化的配置。可见, 由于核心光网络对恢复时间的要求, 预先计算恢复路由方式将更加适用, 同时, 通过基于共享的恢复路由算法, 实现恢复资源的共享, 可以充分利用网络的资源。

恢复路径的选取算法以恢复资源共享为原则, 算法的最根本思想是针对每一次连接请求, 源节点计算一条工作路径 P_s 和一条恢复路径 P_r 。 P_s 和 P_r 的设计原则为: P_s 和 P_r 应该是链路和节点不相邻; 不会同时发生故障的工作路径的恢复路径应该尽可能地共享链路资源; 网络上的所有链路应该为故障预留足够的带宽, 即任何一条工作路径发生故障, 网络都有足够的资源进行恢复; 用于恢复的网络总带宽应该最小化。为了达到设计目标, 最关键的是在计算恢复路径时, 把物理链路中用于恢复的共享带宽作为影响该链路权重的重要因素。

采用恢复路由预先计算的方式, 在工作路径建立之后, 源节点可通过信令消息所返回的整网链路状态参数, 更改各链路的路由权重, 利用基于网状网资源共享的分布式恢复路径算法计算得到恢复路由, 然后进行恢复资源预留。预计算恢复路由通常需要网络参数的传递, 因此恢复路由的选择和工作路径建立将是一个整体的信令过程。

在 ASON 中，工作路径和恢复路径都是通过控制信令动态建立的，通用多协议标签交换 (Generalized Multiprotocol Label Switching, GMPLS) 体系中基于约束路由的标签分配协议 (Constraint-based Routing Label Distribution Protocol, CR-LDP) 是目前适合于 ASON 的一种控制协议 [2]。通常，建立一条光路 (工作路径或保护路径) 包括连接请求和标签映射两个过程，各节点通过连接请求向下游节点请求资源分配，并在映射过程中完成资源分配，硬件配置，向上游节点通告本地光标签 [4]。建议标签是在此基础上提出的新机制 [5]，即在连接请求过程中，上游节点可主动向下游提供本地希望使用的光标签——建议标签，并按照该标签进行资源分配和硬件配置 (如 OXC 配置)，当下游认为不可接受时可忽略该建议标签。采用建议标签，对节点进行预配置，在网络资源相对充足且配置合理的情况下，能够在很大程度上缩短光路建立的时间，这对于恢复路径来说是尤为重要的。

3.1.2 实现方案 根据上述的选路和建路策略，图 1 示出了工作路径建立、参数返回、恢复路由计算和恢复状态更新等一系列信令过程，所使用的信令协议为 CR-LDP。

假设从节点 N1 向节点 N6 请求工作路径并需要对业务共享式恢复。首先，节点 N1 为该连接请求计算工作路径 (如图虚线所示路径)，沿工作路径发送 CR-LDP 连接请求消息，使用显示路由 [6]。采用建议标签，上游节点主动分配建议光标签，向下游通告，然后据此进行本地配置。

接下来是光标签映射过程，由尾节点 N6 发起，沿工作路径反方向发布光标签映射消息。由于使用共享式的恢复，工作路径各链路对恢复资源的需求应该被反馈给源节点以计算最佳的恢复路由。这些参数可由 CR-LDP 映射消息携带而不需另外添加消息，因此，映射消息需要扩展以支持参数携带。至于参数的确定方式视具体的算法而定，但目的都是为了最大限度地共享恢复资源。工作路径上每一个节点将比较映射消息的出入光标签和建议标签是否一致，如果不一致将需要重新配置本地节点，一致则只需将映射消息转发出去。

经过映射过程，工作路径被建立起来，计算恢复路由的参数也被返回到源节点，节点 N1 可根据返回的参数改变各链路的路由权重，尽量使得已经为恢复预留较多资源的链路再次被选作恢复路径链路的可能性大些 [1]，以达到共享恢复资源的目的。恢复路径确定后 (如图点划线所示路径)，节点 N1 需要同时向工作路径和恢复路径上的节点发恢复状态更新消息，更新各链路用于支持共享式恢复的参数值，并对恢复资源进行预留。

相应于连接建立和恢复路由计算过程的节点状态转移如图 2 所示。图中的状态定义如下：

空闲状态 (S_i)：默认状态。在此状态下，节点可以接收呼叫建立请求并进行处理，也可以接受恢复状态更新消息，修改本地参数值。

连接建立请求状态 (S_{sreq})：节点发出连接请求消息，等待连接请求应答。

恢复路由计算状态 (S_{srpc})：源节点收到映射消息后，进行恢复路由计算。

工作状态 (S_a)：光路建立过程完成，准备传送用户信息。

恢复资源预留 (S_{rps})：此状态下，恢复路径上的节点收到恢复状态更新消息，更改参数值并预留资源。

连接释放 (S_{rreq})：发起连接释放处。

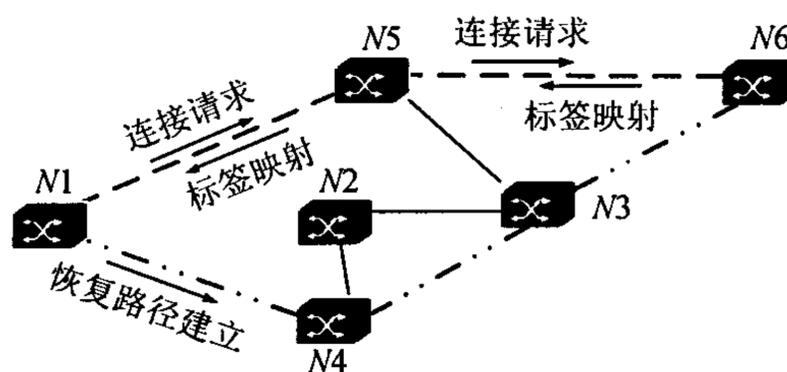


图 1 恢复路由选择过程

信令错 (S_{sigerr})：在此状态下，信令通道被中断。

图中引起状态转移的事件定义如下：Unk 为收到无法识别的消息；SetReq 为节点收到连接请求消息；SetIndS 为源节点收到连接请求确认消息，这里是携带恢复路由参数的映射消息；SetIndNS 为中间节点收到连接请求确认消息，这里是携带恢复路由参数的映射消息；SetNInd 为节点收到连接拒绝消息；SetExp 为连接建立计时器超时；SetPr 为节点收到恢复状态更新消息；SetPrSc 为恢复资源预留成功；SigErr 为探测到信令通道故障；SigNErr 为信令通道故障被修复。

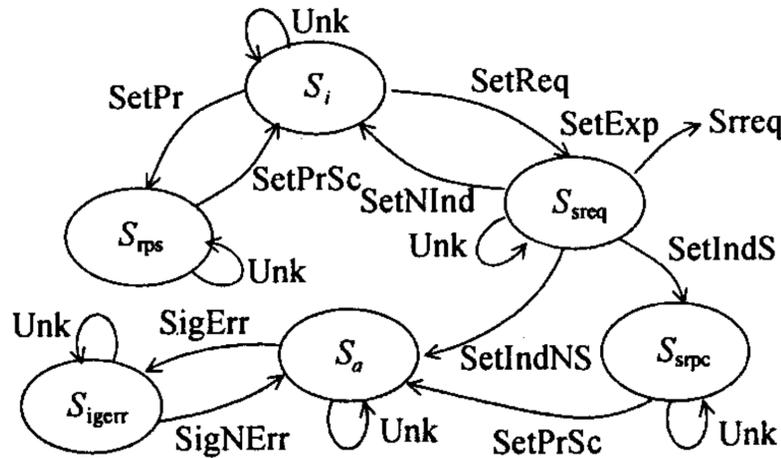


图 2 恢复路由选择节点状态图

3.2 快速的故障定位与通告

经过上述的一系列过程，工作路径建立完毕，同时源节点计算了一条基于资源共享的恢复路径，并预留了资源。当发生故障时，故障的定位和通告处理可以使用链路管理协议 (Link Management Protocol, LMP) 的故障管理机制实现 [7]，具体的控制信令既可以直接使用 LMP 定义的消息，也可通过扩展的 CR-LDP 的通知消息得到。本文以后一种方式为例，描述基于 CR-LDP 通知消息控制的故障定位和通告处理。通过增加事件编码类型，扩展得到故障发现消息和故障通知消息 [5]。发生故障的节点使用故障发现消息向上游节点进行故障通告，完成故障定位的节点利用故障通知消息通知源节点进行业务恢复。信令过程如图 3 所示。

假设存在一条工作路径节点为 $N1-N5-N6$ ，其恢复路由为 $N1-N4-N3-N6$ ，已通过 2.1 节所述过程完成配置。当节点 $N5-N6$ 之间发生链路故障时，节点 $N6$ 的入端口不再收到光信号，据此可判定上游发生故障，但还无法定位。节点 $N6$ 通过控制平面向上游节点 $N5$ 发故障发现通知消息。

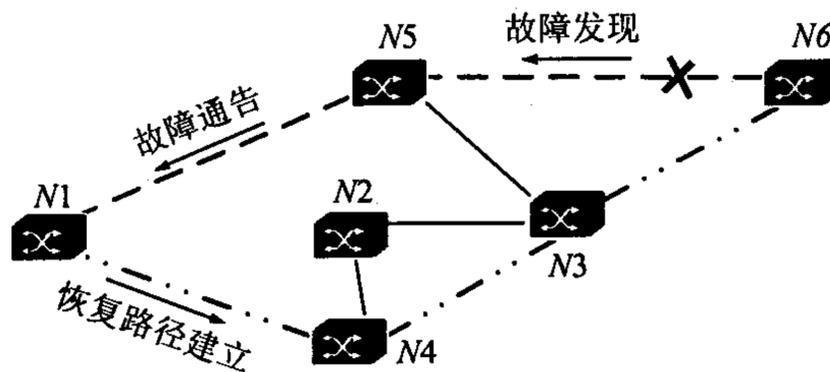


图 3 故障管理过程

节点 $N5$ 收到故障发现消息后，向节点 $N6$ 返回一个应答消息，以避免节点 $N6$ 针对同一故障的重复告警。然后节点 $N5$ 检测本地节点。如果对应入端口也没有收到光信号，说明故障并非发生在下游，此时如本地节点尚未就入端口没有收到光信号向上游通告，就将继续向上游转发该故障发现消息，否则丢弃该消息。如果入端口一切正常，说明故障发生在下游链路，故障定位完成。

完成故障定位的节点，沿工作路径反方向发布故障通知消息给源节点，源节点找到相应的预计算的恢复路由，发起恢复路径建立过程。恢复路径的建立和工作路径的建立过程类似，由于恢复资源的提前预留，建议标签和节点预配置机制非常适用，可以快速地建立恢复路径。

4 实验验证

基于图 1 所示的拓扑结构，我们构建了 ASON 生存性仿真试验平台，平台包括 6 个节点，其中包括 3 个物理节点，3 个虚拟节点。物理节点由光交叉连结设备和装有控制软件的计算机构成，如图 4 所示，虚拟节点为一台带有控制软件的计算机。控制通道由以太网构成，光交叉连结设备间通过光纤相互连结。整个仿真平台用于对基于共享的分布式恢复进行仿真和性能分析。

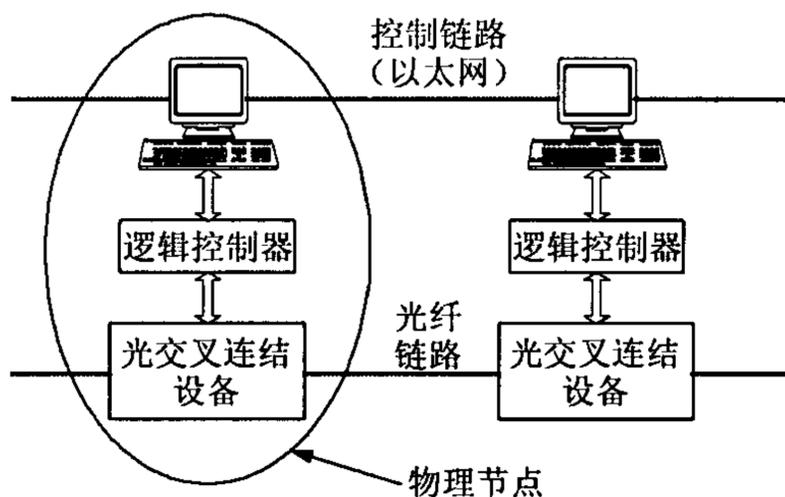


图 4 试验平台物理节点结构示意图

光交叉连接设备主要用于实现输入输出光路的动态交叉连接，其核心部件是光交换单元。在仿真平台中，光交叉连接设备主要由一个 4×4 的光开关和相应的控制电路构成，相当于一个 4×4 的交换单元。光交叉连接设备的交叉连接状态是通过控制软件下达相应指令由逻辑控制器指配完成的。当工作中的交叉连接设备探测到输入端口没有光信号输入，则向控制平面发出故障告警，该告警信息会通过控制平面通知给源节点，源节点负责发起恢复路径的建立。在实验中，对于恢复时间的测试是通过控制软件的计时器完成的，发生故障时计时器启动，恢复路径建立后计时结束。

实验证明，上述基于共享的分布式恢复是有效可行的。由于采用建议标签和节点预配置策略，故障恢复时间只需要包括故障定位、恢复路由建立两个过程的信令传送时间、信令处理时间和一个节点的 OXC 倒换配置时间。通过多次故障，测得故障的平均恢复时间约为 12ms，其中，OXC 的典型倒换时间为 4~5ms，信令的传送和处理时间约为 7~8ms。仿真试验中，6 台微机在一个局域网段内，传送时延非常小，且网络规模不大，节点需要维护和处理的信息不多，因此 12ms 的恢复时间是合理的。在实际网络中，随着网络结构和信令处理过程的复杂化，当网络发生故障时，利用同样的信令机制和恢复策略将需要更长一些的恢复时间，可能达到数百毫秒，但仍然可以满足大多数业务对恢复速度的需求。

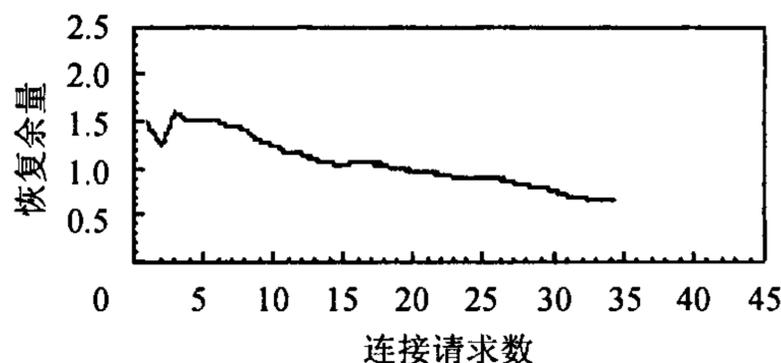


图 5 恢复余量-连结请求曲线图

共享式恢复对网络资源利用率的提高程度依赖于网络的结构。基于图 1 的拓扑, 多次请求后网络的恢复余量 (Overbuild) 和连接请求数 (n) 之间的关系曲线如图 5 所示, 其中网络的恢复余量代表整个网络恢复资源和工作资源的比 r/s 。传统的保护机制需要较多的备用资源, 用于保护恢复的网络资源和工作资源的比值大于 1, 并且通常要大的多, 相比之下, 基于共享的分布式恢复策略对网络恢复余量指标有了很大程度的改善。我们可以看到, 由于采用了恢复资源共享, 随着连接请求数的增加, 恢复资源和工作路径资源的比不断减小, 当连接在 30 次以上时, 恢复余量可达到 0.7 左右, 远远好于传统保护机制。对于节点更多, 网络节点度更大的网络, 通过共享式恢复得到的恢复资源和工作路径资源的比值可以更小。从而大大减小了网络容量的冗余度。

5 结论

基于 ASON 的网络结构, 本文详细分析了网状光网的分布式恢复机制, 综合考虑故障恢复的选路、建路以及故障管理等方面因素, 提出了一种基于共享的分布式恢复策略, 并具体地描述了实现方案和信令过程。实验证明, 这种基于资源共享的分布式恢复机制不仅能够得到较短的恢复时间, 而且可以实现比传统的保护机制高得多的网络资源利用率, 较好地解决了资源利用率与恢复时间之间的矛盾。这一机制满足了 IP 网与光网融合的发展需要, 充分体现了自动交换光网络的智能性、灵活性、可扩展性和鲁棒性要求, 是切实可行的。

参 考 文 献

- [1] Li G, Doverspike R. Efficient distributed path selection for shared restoration connections. IEEE INFOCOM 2002, New York, June 2002, vol.1: 23-27.
- [2] Xu Y, Lamy P L. Generalized MPLS-based distributed control architecture for automatically switched transport networks. *Bell Labs Technical Journal*, 2001, 6(1): 33-49.
- [3] Sengupta S, Ramamurthy R. Capacity efficient distributed routing of mesh-restored lightpaths in optical networks. IEEE GLOBECOM 2001, San Antonio, USA, Nov. 2001: 2129-2133.
- [4] Andersson L, Doolan P. LDP Specification. IETF RFC3036, January, 2001.
- [5] Ashwood-Smith P. Generalized MPLS signaling-CR-LDP extensions. IETF internet draft, work in progress, August 2002.
- [6] Jamoussi B. Constraint-based LSP setup using LDP. IETF RFC3212, January, 2002.
- [7] Lang J. Link management protocol. IETF internet draft, work in progress, November, 2002.

刘爱波: 男, 1980 年生, 博士生, 研究方向为智能光网络。
周亚萍: 女, 1977 年生, 硕士生, 研究方向为智能光网络。
赵继军: 男, 1970 年生, 讲师, 研究方向为光网络生存性。
纪越峰: 男, 1960 年生, 教授, 研究方向为光互联网。