

自动交换光网络中恢复路径提供机制的研究¹

赵继军 * ** 纪越峰 * 徐大雄 *

*(北京邮电大学光通信中心 北京 100876)

** (河北建筑科技学院电子系 邯郸 056038)

摘要: 为了获得高效的网络生存性能, 基于自动交换光网络 (ASON) 的框架, 该文提出了一种新型的可恢复路径选择算法——联合可变权重可恢复路径 (JVWR) 选择算法, 并进行了数值仿真分析, 仿真结果表明, 此恢复路径选择算法具有明显的业务量均衡能力, 并降低了动态连接请求的阻塞概率, 同时具有良好的带宽利用率和恢复资源共享效率。该文还对 mesh 网络业务路径和恢复路径的建立机制进行了讨论, 在 ASON 功能框架之内, 基于通用多协议标记交换提出了并行 mesh 共享恢复路径建立机制, 从而较系统地分布式恢复路径动态建立机制进行了研究。

关键词: 光网络, 分布式恢复, 路径选择, 通用多协议标记交换

中图分类号: TN913.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)06-0903-09

Study on Distributed Restorable Lightpath Establishment Mechanism in Automatically Switched Optical Network

Zhao Ji-jun* ** Ji Yue-feng* Xu Da-xiong*

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

** (Hebei Institute of Architectural Science and Tech., Handan 056038, China)

Abstract To obtain efficient survivability, this paper presents a novel restorable lightpath selection algorithm based on the automatically switched optical network frame. A numerical simulation is made in term of this routing selection algorithm. The result shows that the traffic has an obvious balancing trend; the block probability of connection requests has been reduced. At the same time, this algorithm has an excellent performance on bandwidth utility and sharing of the restoration resources. This paper also discusses the mesh network service lightpath and restoration lightpath setting up strategy. In the automatically switched optical network frame, a parallel restorable lightpath setup mechanism is proposed based on the Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) principle.

Key words Optical network, Distributed restoration, Routing selection, Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)

1 引言

随着互联网技术的发展, 数据业务量以指数的方式迅猛增长, 对当前的核心光传输网络带来了巨大冲击, 并提出了新的要求。一方面, 由于业务量的增加对传输带宽提出了要求; 另一方面, 由于 Internet 数据业务本身所具有的业务突发性、自相似性和业务不对称性等特点对网络的动态提供提出了较高的要求。对于第一个问题密集波分复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 技术的应用给予了很好的解决; 对于第二个问题, 促进了智能光网络

¹ 2002-11-14 收到, 2003-02-26 改回

国家自然科学基金项目 (No.90104017)、863 计划高科技项目 (No.2001AA122062)、教育部科学技术研究重大项目 (No.0215) 和教育部跨世纪优秀人才培养计划基金资助课题

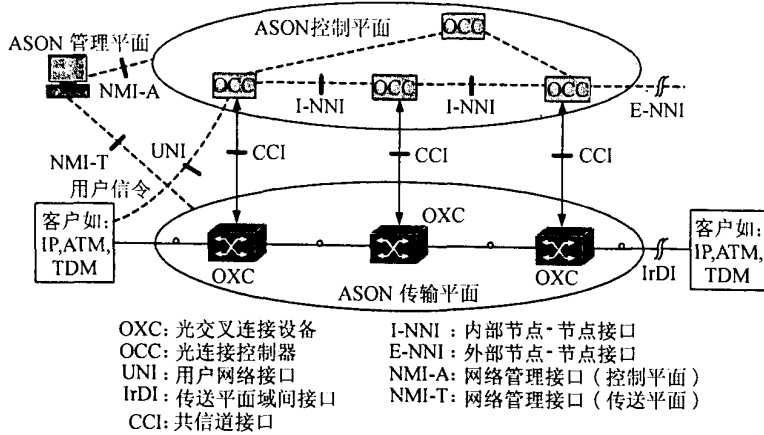


图 1 ASON 功能结构图

(Intelligent Optical Network, ION) 概念的提出, 它的主要内容是改变光纤网络单纯作为信息传输媒质的局面, 实现光层网络的互联, 在光层提供先进的网络功能。这一发展方向已成为当前标准化组织的主要工作焦点, ITU-T 提出的自动交换光网络 (Automatically Switched Optical Network, ASON) 便是在这一进程中出现的有前途的概念^[1], 也是对传输网络的一次重大变革, ASON 网络的功能结构如图 1 所示, 它在传统的传输网络中增加了一个控制平面, 通过对通用多协议标记交换 (Generalized Multi-Protocol Label Switching, GMPLS)^[2] 相关协议的应用, 可以在光网络中实现资源发现、路由选择、动态资源分配和故障恢复等功能。

在 ASON 网络发展的过程中, 网络的生存性是一项关键技术, 由于光纤传输容量巨大, 使得任何微小的故障都会造成巨大的影响和损失。例如, 具有 40 个波长的 WDM 系统如果承载的是 2.5Gbit/s 的同步数字系列 (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) 信号, 则它的故障将会影响 1,200,000 路电话, 所以光网络的生存性越来越成为光网络可靠高效运行的关键。网络生存性的优劣则取决于网络恢复算法、物理拓扑结构以及备用容量的大小和分布。在文献 [3] 中给出了多种网络恢复算法, 网络的故障恢复可以根据不同的标准来进行划分, 按照恢复路径的计算方式可以分为集中式恢复和分布式恢复^[4], 按业务请求方式可以分为静态业务恢复和动态业务恢复^[5], 按恢复资源的利用形式可以分为专用资源恢复和共享资源恢复^[4,6]。在当前的业务特性条件下, 集中式恢复由于对网络的资源状态的维护很难与网络的实际情况同步, 所以难以支持对生存性能要求较高的 ASON 网络环境, 而专有资源的恢复方式 (如 1+1 方式) 由于在 mesh 网络环境中将要比共享式多用 158.8% 的网络资源^[4], 在大规模的 mesh 网络中采用专有的保护将造成资源浪费。所以, 在本文中我们主要对基于新型智能光网络环境的分布式动态路径选择和恢复资源的共享进行研究。

2 ASON 概念引入后的光网络

随着智能光网络逐渐由概念向实用化的方向发展, 组网结构也正逐渐由链路型、环型向网格 (mesh) 型网络结构发展, mesh 拓扑结构将是未来核心光网络的必然拓扑结构, 光 mesh 网络通过 WDM 链路将光交叉连接设备连接构成, mesh 网在应用中有其独有的优势, 光 mesh 网络可以灵活运用波长通道进行有效的容量提供和故障恢复。ASON 概念引入之后, 在其控制平面加强了光层信令和路由能力, 这为分布式恢复分路径选择和信息分发奠定了基础, 具有 ASON 接口的通用网络拓扑如图 2 所示, 客户网络通过用户网络接口 (UNI, User Network Interface) 可以发起连接建立请求, 获得动态连接提供。

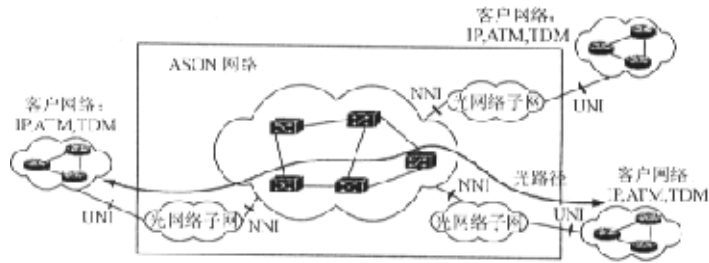


图 2 Mesh 光网络拓扑

对于上述网络的物理拓扑, 在本文中设定物理拓扑各节点间均为反向光纤对组成的双向链路, 节点间的业务需求可以是不对称的, 并且同一节点对间允许建立多条不同的光通道, 同时, 网络的节点设备具有全波长转换能力, 即在网络的路径选择和波长分配时不需考虑波长一致性约束, 基于上述网络的可恢复路径建立主要有三部分: 一是主用路径和备用路径的计算; 二是波长资源的预留和分配; 三是物理路径连接配置的建立。在这样的网络中实现可恢复路径的优化选择和有效的资源分配是需要讨论的关键。对于路径选择算法, 一般采用标准 Dijkstra 最短路径算法来搜索节点对之间的物理路由, 该算法的显著特点在于其算法中对于链路权重的抽象性。基于这一特点, 在实际的应用中, 根据需要可以选择具有不同属性的链路权重实现对路径的选择。

为了获得较快的 mesh 网络恢复速度, 我们采用预先计算, 故障时配置的策略, 在本文后面部分, 将根据此顺序对上述问题进行细致的研究, 在第 3 节提出了联合可变权重可恢复路径选择 (Joint Variable Weight Routing algorithm, JVWR) 算法, 在第 4 节对该算法的实现信令流程进行了讨论, 在第 5 节进行了数值仿真并给出了分析结果, 第 6 节给出了光网络路径的建立策略, 最后给出了结论。

3 基于联合可变权重的可恢复路径选择算法 (JVWR)

对于上述物理网络可以抽象为无向图, 网络节点可以抽象为图的顶点, 用 V 表示, 网络链路可以抽象为图的边, 用 E 表示, 则该物理网络抽象成无向图可表示为 $G(V, E)$, 设顶点集合 $V = (v_1, v_2, v_3 \cdots, v_m)$, 边的集合 $E = (e_1, e_2, e_3 \cdots, e_n)$, m 和 n 分别为图的顶点和边的个数。

为了获得较好的网络生存性和资源利用率, 一个可恢复的 mesh 网络路径由一条业务路径与不相邻的故障恢复路径组成, 恢复路径经过的波长通道可在不同的 mesh 恢复光路径之间共享, 前提是这些恢复路径的业务路径没有公共的链路, 即主用路径是不相邻的, 并且假设共享同一恢复路径的业务路径不会同时发生故障, 如图 3 所示, 不相邻的业务路径 P_{s1} 和 P_{s2} 分别有恢复路径 P_{r1} 和 P_{r2} , P_{r1} 和 P_{r2} 可以共享节点 C_1 和 C_2 之间的链路通道。这有助于实现对 mesh 网络中单链路故障的恢复, 同时可节省用于恢复的网络资源。

在此文中我们采用较通用的路径建立方法实现业务路径和恢复路径的建立, 在分布式情况之下, 路径的计算在源端光交叉连接设备 (Optical Cross Connect, OCC) 进行, 当一个建立可恢复光路径的连接建立请求到达时, 在路径的源节点 (入口节点) 首先寻找一条最短路径作为业务路径, 然后再寻找一条与业务路径不相邻的最短路径作为恢复路径。在文献 [6-8] 中主要考虑了共享恢复路径的选择问题, 而没有考虑业务路径选择对恢复路径选择以及资源共享的影响。因此在本文中提出了联合可变权重 (Joint Variable Weight, JVW) 的概念, 并基于此进行了联合可变权重可恢复路径选择算法的研究。

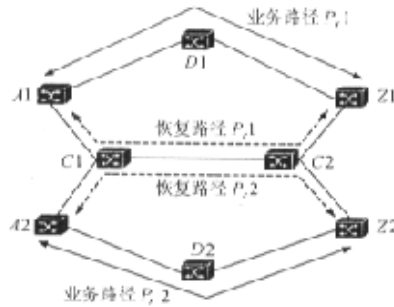


图 3 Mech 网络共享可恢复路径

在 JVWR 算法中主要考虑对 Dijkstra 算法的抽象权重进行物理属性的扩展,使得在选路时同时考虑了流量均衡和共享资源利用的因素。基于 Dijkstra 的传统算法的路径选择是利用链路权重之和最小的原则获得希望的路径,链路权重提供了一个控制路径选择的“调节器”。在传统的算法中,利用权重进行可恢复路径选择时,由于采用 Dijkstra 算法是选用基本权重(跳数)和最小的路径,因此选择的路径会向权重和较小几条路径上集中,往往在路径选择的初始就带着业务量集中的弊端,从而造成连接请求阻塞概率的提高。此外,由于基本权重是一固定权重,具有不变性,所以也不能反应网络资源的动态变化特征。因此,我们希望通过联合可变权重的概念实现对可恢复路径的选择,以解决上述问题。联合可变权重即充分利用了 Dijkstra 算法链路权重的抽象性,根据具体的网络性能要求,赋予其具有性能影响因素的权重,在选择路径的同时兼顾考虑路径选择的流量均衡和恢复资源的有效利用。在 JVWR 算法中,我们将业务路径选择权重和恢复路径选择权重分别定义,提出链路使用概率权重 $w_s[i]$ 和恢复路径代价权重 $w_r[i]$ 两个概念。在主用路径的选择中主要考虑了路径的流量工程特性和阻塞概率性能,而在恢复路径权重的定义中主要考虑恢复资源的共享利用。在这一部分我们首先定义了 JVWR 算法需要的链路状态信息,利用该信息可以计算链路选择所需权重。在 ASON 的分布式控制平面环境之下,链路状态信息可以通过路由协议散发,其中有些信息可以通过开放最短路径优先 (Open Shortest Path First, OSPF) 或中间系统中间系统 (Intermediate System-to-Intermediate System, IS-IS) 协议在 GMPLS 框架之内的扩展来进行散发,同时也可以通过已有的 OSPF/IS-IS 流量工程扩展来实现。

JVWR 算法所需信息:

- (1) 业务带宽 S_i : 表示链路 i 上被业务光路径使用的带宽总和, $i \in E$;
- (2) 预留带宽 R_i : 表示链路 i 上预留用作故障恢复使用的带宽的总和,在网络非故障情况之下,该带宽不被使用而只处于“软预留”² 状况;
- (3) 可用带宽 A_i : 表示链路 i 总带宽去除业务带宽 S_i 和预留带宽 R_i 之后的空闲带宽,它可以作为当前连接请求分配业务带宽和恢复预留带宽;
- (4) 链路基本权重 $W[i]$: 设定每条链路的路径逻辑基本权重为 1,代表跳数,对于实际物理意义可以考虑路径长度等因素;
- (5) 链路使用概率权重 $w_s[i]$:

$$w_s[i] = \left[\frac{n_i - n_s[i]}{n_i} \right] W[i] = [1 - p_i] W[i] \quad (1)$$

² 软预留: 指在路径选择之后,链路资源处于预留状态,但没有建立实际的物理连接配置。

其中 p_i 为链路通道使用概率, n_i 为链路 i 通道数, $n_s[i]$ 为链路 i 上业务路径数, 它将在信令过程中被收集更新, 并维护在链路的主节点 (一条链路两个端点中负责维护链路本地信息的物理节点, 可选物理识别符小的作为主节点) 中。 $w_s[i]$ 的物理意义可以理解是当前链路可以被任意路由选择的概率, 如果某一链路上通过的通道数目越少则该链路被选择的概率越大。为了获得较好的流量工程能力, 减少阻塞概率, 使通道分布尽可能均匀, 所以在为连接请求寻找路由时, 需遵循路径经过的各链路使用概率权重之积最大的原则;

(6) 恢复路径链路代价权重 $w_r[i]$

$$w_r[i] = \begin{cases} \min(b, T[i] + b - R[i]) \cdot W[i], & T[i] + b - R[i] > 0, \quad i \notin P_s \\ \varepsilon, & T[i] + b - R[i] < 0, \quad i \notin P_s \\ \infty, & i \in P_s \end{cases} \quad (2)$$

其中 $T[i]$ 为沿 P_s 路径的任何链路发生故障时, 为了实现故障恢复在链路 i 上需要的最大带宽, b 为当前连接请求的带宽大小, 它将在信令过程中被收集更新, 并维护在路径的源节点。上述权重的物理意义在于链路当前预留带宽情况下, 当有新的连接请求到来时, 需要多少额外的带宽资源来满足新的连接请求的恢复带宽需求, 它有如下几种情况:

(a) 当 $i \in P_s$ 时, 说明选择的恢复路径和业务路径处于同一链路, 这不满足可恢复路径的业务路径和恢复路径不相邻的条件, 所以若想在链路上实现恢复路径提供需要的代价为无穷大。

(b) 在 $T[i] + b - R[i] < 0$ 并且 i 不属于 P_s 的情况下, 说明预留带宽可以满足已有的业务路径和当前连接请求的故障恢复请求, 所以不需要额外的带宽需求, 所以代价权重为一极小值。

(c) 在 $T[i] + b - R[i] > 0$ 并且 i 不属于 P_s 的情况之下, 说明链路预留带宽难以满足故障恢复的要求, 需要从当前链路可用带宽 A_i 中获得额外的补充带宽 $\min(b, T[i] + b - R[i])$ 。在利用该代价权重选择恢复路径的时候, 应遵循权重之和最小的原则, 这样就实现了不相邻业务路径的高效恢复路径共享。

基于上述信息, 利用 Dijkstra 算法可以对业务路径和恢复路径进行计算。为了实现上述算法, 网络需维护如下信息: 对于网络中的一条恢复路径上的链路 k , 每条链路的主节点维护了一个队列 $\text{Fail}_{\text{other}}(k)[i]$, $i \in E$, 它反应了在链路 k 上为保证其它的链路 i 的故障恢复所需要的带宽; 另外, 对于网络中的一条业务路径上的链路 k , 在其主节点中也维护了一个队列 $\text{Fail}_{\text{self}}(k)[i]$, $i \in E$, 它反应了链路 i 上为链路 k 自身的故障恢复而预留的带宽需求, 这两个信息 $\text{Fail}_{\text{other}}(k)[i]$ 和 $\text{Fail}_{\text{self}}(k)[i]$ 在信令处理阶段将被更新, 此外在每条链路的主节点还要维护一个链路上业务路径数 $n_s[i]$ 列表。路径选择时采用先业务路径选择再恢复路径选择两步; 我们将在下面进行讨论。

4 基于 ASON 控制平面的信令过程

基于上述算法的关键是如何对相关信息进行传递和更新。下面我们提出如下的基于 ASON 控制平面协议的可恢复路径建立过程。如图 4 所示。

(1) 在源节点 OXC 接收到要求建立可恢复路径的连接建立请求;

(2) 在源节点, 利用维护的网络拓扑信息, 基于链路使用概率权重 $w_s[i]$, 利用 Dijkstra 算法选择一条 $w_s[i]$ 之积最大的路径作为业务路径;

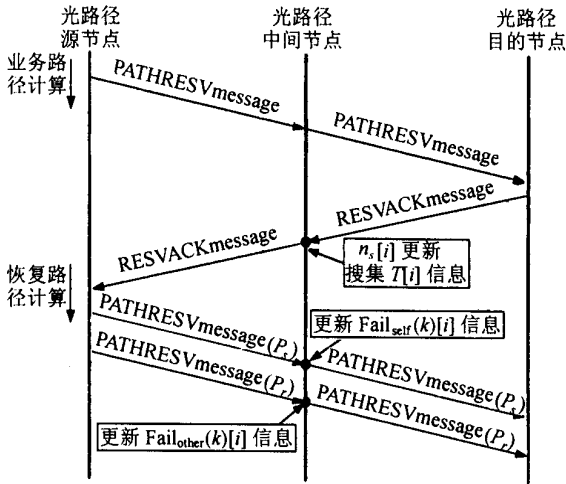


图 4 JVWR 算法信令流程

(3) 如果业务路径选择成功, 在业务路径 (P_s) 选择之后, 利用资源预留 (Resource reSer-Vation Protocol, RSVP) 信令协议, 源节点沿业务路径 P_s 向目的节点送出一个路径预留信息 PATHRESV message, 当目的节点接收到 PATHRESV message 信息之后将沿业务路径反向返回一个路径建立的确认消息 RESVACK message, 在 RESVACK message 信息中承载了 $n_s[i]$ 信息队列和 $T[i]$ 信息队列, 利用其中的信息可以对相关

信息进行更新, 在网络初始化时队列 $n_s[i]$ 和 $T[i]$ 均被赋值为零, 当 RESVACK message 在每条链路的主节点被处理时更新 $n_s[i]$ 和 $T[i]$ 的值. $n_s[i]$ 做如下更新: $n_s[i] \leftarrow n_s[i] + 1$, 而 $T[i] \leftarrow \max(T[i], Fail_{self}(k)[i])$. 而后, 继续下一步操作; 如果业务路径建立失败则返回失败信息 RESVFAIL message;

(4) 当目的节点接收到 RESVACK message, 按照最短路径算法, 利用源节点维护的 $T[i]$ 列表, 计算恢复路径链路代价权重 $w_r[i]$, 并遵循恢复路径代价权重之和最小的原则, 在源节点选择第 2 条最短路径作为恢复路径 (P_r), 使之处于“软预留”状态;

(5) 当恢复路径被选择后, 源节点沿业务路径和恢复路径送出两个 PATHRESV message, 沿恢复路径的 PATHRESV message 用来预留共享的恢复带宽, 沿业务路径的 PATHRESV message 用来更新本地的链路状态信息. 沿恢复路径的 PATHRESV message 包含了一个业务路径的链路列表, 这一列表用来维护每个链路 k 的共享预留带宽. 沿恢复路径的链路 k 的主节点将更新 $Fail_{other}(k)[i]$, 如果链路 i 在业务路径之上, b 是当前的连接请求带宽, 则作如下更新: $Fail_{other}(k)[i] \leftarrow Fail_{other}(k)[i] + b$. 沿业务路径将包含一个恢复路径的链路列表, 当链路 i 在恢复路径上时, 将在链路 k 的主节点对 $Fail_{self}(k)[i]$ 进行如下更新: $Fail_{self}(k)[i] \leftarrow Fail_{self}(k)[i] + b$.

5 仿真结果及分析

根据 JVWR 算法我们进行了数值仿真, 在仿真分析中, 随机生成了一个 mesh 网络拓扑, 该网络拓扑包含 41 个节点和 110 条链路. 基于 JVWR 算法, 针对不同的连接请求数, 就主用路径链路选择的平衡情况, 阻塞概率, 资源的利用情况以及网络的恢复余量进行了数值模拟, 为了进行更有效的说明, 同时对 1+1 的 mesh 网络故障恢复以及文献 [6, 7] 提出的 FIR 算法进行了仿真, 并与 JVWR 算法进行了比较分析.

在图 5 中, 反映了不同算法在连接请求数为 2000 时网络中每条链路为业务路径提供的通道数, 由图可以看出, 在 1+1 和 FIR 算法中, 由于在路径选择中没有考虑流量均衡因素, 所以基于上述两种算法在进行路径选择时会出现路径选择集中的情况, 有的链路为业务通道提供的通道数较大, 而有的链路为业务通道提供的通道数较少, 造成了业务的严重不均衡, 而 JVWR 算法由于使用了具有流量均衡因素的权重, 所以网络链路为业务路径提供的通道数较均衡, 这从图中可以明显的看出. 对于图 6, 反映的是连接请求数对阻塞概率的影响, 从图中可以看出, 在

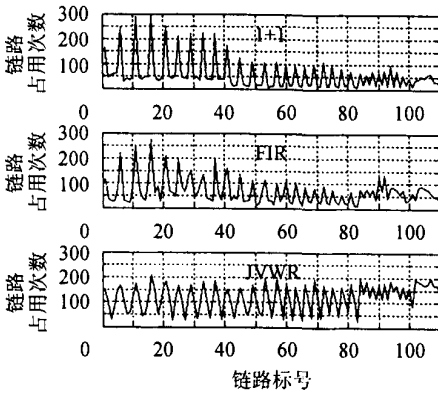


图 5 业务量均衡分析

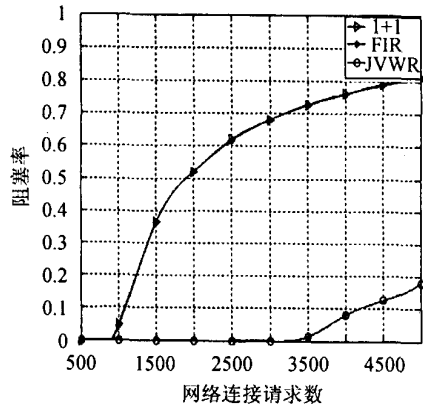


图 6 连接请求数对阻塞率的影响

设定的网络情况之下，采用 1 + 1 算法和 FIR 算法时，当连接请求数超过 900 后，连接请求的阻塞概率将急剧上升，由于 FIR 算法的业务路径选择采用和 1 + 1 算法相同的链路权重策略，所以两者的阻塞率曲线基本重叠，而对于 JVWR 算法，当连接请求数超过 3400 后阻塞率曲线才有明显的上升，并且其阻塞率明显低于前两种算法，这说明 JVWR 算法由于引入了具有流量均衡因素的权重，在路径选择时就考虑了路径的分散，使得路径选择的集中程度大大降低，从而也使得阻塞率明显减小。

图 7 反映了不同算法随不同的连接请求数变化情况下网络总带宽占用情况，从图可看出随着连接请求数的增加，带宽使用量线性上升，但由于 FIR 算法和 JVWR 算法在恢复路径的选择时考虑了共享恢复带宽的因素，所以其带宽的使用量较 1 + 1 算法少，而 JVWR 算法由于考虑了路径选择的均衡，对链路带宽资源的利用有所优化，所以其带宽使用量要低于其它两种算法。图 8 反映了对于不同连接请求数，恢复余量的变化情况，恢复余量是指网络恢复路径占用的总带宽数和业务路径占用的总带宽数之比。图 8 可以说是图 7 从另一个角度的反应，但它更直观地反映了恢复路径的资源共享情况，恢复余量越低，越说明恢复资源的共享利用率越高，从图中可以发现 JVWR 算法的恢复余量较其它两种算法的要低，这也说明 JVWR 的恢复带宽资源的共享率最高，也就是说在故障恢复中，该方式对网络资源较节省。

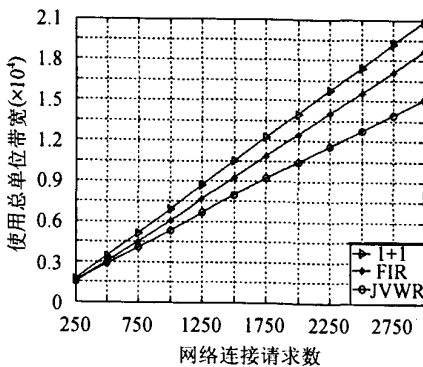


图 7 带宽使用情况

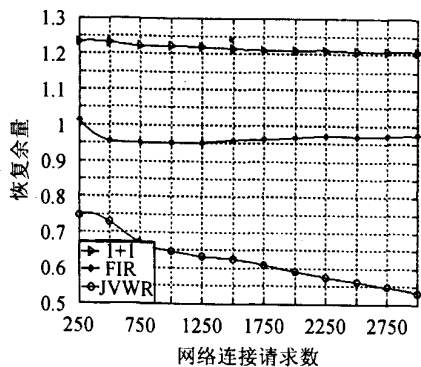


图 8 恢复资源共享情况

在时间复杂度方面，JVWR 算法虽然考虑了较多的因素但相对与传统的路由选择算法时间复杂度并没有增加，这是因为 JVWR 算法的核心在于灵活运用了分布式信令的信息汇聚能力和传统 Dijkstra 算法权重的抽象性，利用更加丰富的网络信息获得了更加具体、实际的权重，

使得在选路时能够更多地考虑网络的物理实际,而对于算法的核心并没有大的变化,而且基于信令的相关信息汇聚可以独立于路径计算,所以该算法具有较好的时间复杂度,适合动态网络环境下在线计算的要求。

由上分析可知 JVWR 算法具有较优良的性能特征,尤其在业务量均衡方面和恢复资源共享方面优势更加突出。

6 恢复路径建立策略

ASON 网络中的呼叫连接控制功能对动态连接的建立进行了定义,通过呼叫和连接控制功能可实现客户向核心网络连接请求的发起,并完成连接的建立、维护、调整和删除以及快速恢复路径的建立和倒换,而这些功能需要具体的接口和控制平面协议来实现。当路径计算和选择完成之后,需要进行沿路径的 OXC 的配置才能完成物理路径的建立,这需要具体的信令协议来实施完成。基于 IP 网络的 MPLS 结构中定义了标签交换路径的建立协议,在 IP 网络中实现了具有流量工程能力的虚电路,使得无连接的 IP 网络中引入了面向连接的能力。随着 MPLS 技术向光域的扩展提出了 GMPLS 技术,并且 GMPLS 框架内的主要协议将作为 ASON 控制平面和接口的主要选择协议实现 ASON 网络动态连接的提供。因此基于 GMPLS 框架扩展后的信令协议可以适应在光网络中建立光路径的要求,能够完成光网络中双向路径的建立和共享恢复路径的建立,如资源预留协议的流量工程扩展 (RSVP-TE, Resource reSerVation Protocol with Traffic Engineering) 或基于路由约束的标签分配协议 (CR-LDP, Constraint Routed Label Distribution Protocol) 在 GMPLS 框架内的扩展均可以通过从源节点向目的节点的逐跳信令来建立光路径。在此我们表述路径建立机制如下:通过 CR-LDP 信令协议,沿业务路径 P_s 标签请求信息将从源端向目的端逐跳转发。在标签请求信息中包含了路径识别符、目的 OXC 地址和端口信息、路径参数等,当标签请求信息到达目的节点后,目的节点配置本地的交叉连接,而后目的节点发出一个标签映射信息,沿相反方向向前一跳转发,当每个 OXC 接收到信令信息后将配置本地的交叉连接,标签信息继续向前一跳转发,直到源节点接受到标签映射信息后,基于算法选择的路径便被配置了起来。

对于故障恢复路径为了获得较快的恢复速度,可采用与业务路径不同的路径建立机制。基于 mesh 网络的分布式共享恢复路径连接的建立不同于 1+1 的恢复方案,恢复路径预先计算后并不进行路径配置,在网络工作正常的情况之下,共享备份路径上的 OXC 只实施“软预留”,不进行交叉连接的配置,直到故障发生后,调用恢复程序过程中才被配置。故障发生时,与业务路径的建立一样,要求信令在恢复路径上的每个节点去建立交叉连接,但是恢复路径对快速性要求更高,在路径建立过程中涉及如下几个时间延迟因素:恢复路径两端点之间的握手联络信号沿路径传输造成的时延,恢复路径经过节点交叉配置建立时间,端节点的保护倒换时延和相关协议的处理时延。当路径的长度增加时,需要恢复的连接也将随之增加,所以,一个新的连接建立可能会花费很长的时间,因此为了减少恢复路径的建立时延,尽可能实现操作流程的并行处理对连接的建立时延的减少是至关重要的。在本文的路径建立策略中,我们借用建议标签的概念在由源节点向目的节点进行标签请求的方向上就对节点的连接进行提前配置。基于建议标签^[9],采用了信息处理和连接配置并行处理的方式,当源端 OXC 接收到故障通告信息后将触发故障恢复路径的建立,源端节点设备开始进行初始化,对于建议标签,源节点在发出的标签请求信息过程中首先预留本地的资源,而后初始化本地交叉连接,而并不需要在由目的节点向源节点进行标签映射时才进行连接建立的配置,从而节省了连接建立时间。然而,此时源节点并不等待本地节点交叉连接配置的完成,而是继续向下一个节点传送连接建立信息,这又体现了信令信息处理和交叉连接配置的并行特点。在中间节点,当接受到建立连接的消息后,首先按照预留的资源检查资源是否可用,如果资源可用,则初始化交叉连接,同时向下一节点转发连接建立信息,当此信息到达目的节点后,与中间节点相同,首先检查可用资源,如果满足,则初始化交叉连接,但是与中间节点不同的是不再转发连接建立信息,而是当交叉连接配置完成之后,在目的节点生成一个确认信息向上游节点传送,当一个上游节点接受到确认信息

之后说明此节点的所有下游节点的交叉连接配置均已完成, 当源节点接收到这一信息之后, 则说明客户请求的连接已被建立起来, 可进行故障业务路径向恢复路径的倒换。

7 结论

本文提出了智能光网络系统中一种新的可恢复路径选择算法——JVWR 算法。它在进行业务路径和恢复路径选择时, 既考虑了业务量均衡的因素, 又考虑了恢复资源共享的要求。通过数值模拟分析, 基于上述考虑的 JVWR 算法在流量均衡、降低阻塞率、减少带宽使用率和提高恢复资源的共享程度方面具有较明显的效果, 使得该算法具有较好的流量工程和节省网络资源的性能。所以我们认为 JVWR 算法是一种在 mesh 网络中较有应用价值的可恢复路径选择算法。同时, 在本文中我们在 ASON 框架之下, 基于 GMPLS 信令协议对可恢复路径的建立策略进行了讨论, 尤其集中在恢复路径的快速连接建立的配置上, 我们在路径建立中引入了建议标签和并行处理的思想, 对实际应用起到了一定的借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] Int Telecommun. Union, ITU-T Recommendation G. 8080, Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON)[S]. Nov. 2001.
- [2] The Internet Engineering Task Force, IETF Draft, Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture. March 2002.
- [3] Doshi B T, *et al.*. Optical network design and restoration[J]. *Bell Labs Technical Journal*, 1999, 4(1): 58-84.
- [4] Sengupta S, *et al.*. Capacity efficient distributed routing of mesh-restored lightpaths in optical networks[A]. IEEE GLOBECOM 2001, San Antonio, Texas, USA, 2001: 2129-2133.
- [5] Hui Zang, *et al.*. Dynamic lightpath establishment in wavelength-routed WDM networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(9): 100-108.
- [6] Guangzhi Li, *et al.*. Efficient distributed path selection for shared restoration connections[A]. IEEE INFOCOM 2002, New York, NY, USA, 2002: 140-149.
- [7] Kodialam M S, Lakshman T V. Dynamic routing of bandwidth guaranteed tunnels with restoration[A]. IEEE INFOCOM 2000, Tel Aviv, Israel, 2000: 902-911.
- [8] The Internet Engineering Task Force, IETF Draft, Shared Backup Label Switched Path Restoration, May 2001.
- [9] The Internet Engineering Task Force, IETF Draft, Generalized MPLS-Signaling Functional Description, November 2001.

赵继军: 男, 1970 年生, 博士, 主要研究方向为智能光网络及光网络的生存性。

纪越峰: 男, 1960 年生, 教授, 博士生导师, 863 通信主题专家, 主要研究方向为光波技术与宽带通信网。

徐大雄: 男, 1928 年生, 教授, 博士生导师, 吉尔吉斯斯坦共和国国家科学院院士, 主要研究方向为光纤通信。