

自动交换光网络 SCN 性能和可靠性规划

陆月明, 刘爱波, 纪越峰
(北京邮电大学电信工程学院, 北京 100876)

摘 要: 自动交换光网络连接的恢复性能、可靠性依赖于信令通信网络(SCN)的性能和可靠性, 本文分析了 SCN 的网络性能、端对端时延特性和可靠性, 得出影响自动交换光网络路由信令性能和可靠性的一些关键因素, 提出了基于连接恢复性能的 SCN 规划方案和基于单链路失效无故障恢复的 SCN 和网络规划方案, 性能规划方案可估计端对端连接恢复的时间范围, 可靠性规划方案可解决单链路失效连接无故障恢复问题, 并能提高路由广播效率。

关键词: 信令通信网络; 规划; 性能; 可靠性; 无故障恢复

中图分类号: TN915. 02 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)12A-082-04

Performance and Reliability Planning for SCN of the Automatically Switched Optical Networks

LU Yue-ming, LIU Ai-bo, JI Yue-feng

(School of Telecommunications Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The restoration performance and reliability of connections depend on that of the signaling communications network (SCN) in the automatically switched optical network. This paper analyzes the performance, transmission delay and reliability of the SCN and gets some important factors which affect the performance and reliability of the routing and signaling. Then, a planning scheme for the performance of the SCN based restoration time of the connection and a planning scheme for the reliability of the SCN based on single link fault no failure restoration are addressed. The planning scheme for the performance enables estimation of the restoration time for connection. The planning scheme for the reliability solves the issue of no failure restoration on single link fault and improves the efficiency of the broadcasting of routing information.

Key words: signaling communication networks(SCN); planning; performance; reliability; no failure restoration

1 引言

自动交换光网络(ASON)^[1]引入了路由信令协议作为控制平面协议, 目前这些协议主要基于 GMPLS^[2]和 PNNI^[3]两大分支, 无论哪一类, 它们都需要 DCN 作为通信通道, ASON 控制平面 DCN 称为 SCN(Signaling Communications Network)^[4], 原则上 SCN 为 ASON 路由和信令所共享. SCN 首先面临的是设计问题(1)SCN 可靠性与路由广播的有效性矛盾问题. 一方面为支持 SCN 的可靠性, SCN 在设计上必须支持多分支冗余链路方式, 如文[4]中提出的环和多分支星形连接, 但另一方面, 从路由角度来看, 要达到光网络拓扑结构的同步, 信息的冗余广播越少越好, 也就是说 SCN 结构越简单(如文[5]提出的 Directed Topology), 拓扑同步的速度及有效性越高, 两者的需求是矛盾的.(2)SCN 性能和带宽规划问题. SCN 带宽的大小、网络结构、网络拥塞程度直接影响到信令通信的时延、业务恢复性能, 但应如何规划 SCN 的带宽与结构才能满足连接恢复的

质量问题.(3)全网单链路故障失效问题. ASON 的网状恢复机制不能回答所有的连接是否可恢复的问题.

本文要回答的问题是: 如何规划 SCN 和网络? 以保证连接恢复的性能, 保证 ASON SCN 的冗余连接和网络的富裕容量可实现全网单链路失效无故障恢复, 提高路由广播的效率.

2 SCN 性能规划

2.1 广播型 SCN 时延特性

由于路由信息采用了多播(Multicasting)和“信息 HUB”, 有利于 SCN 中路由控制器(RC)之间的自动发现等. 以太网网络数据广播能力强, 但由于存在发送竞争(如 CSMA-CD), 节点的转发时延和丢包率随网络带宽和流量发生变化, 也就是说 SCN 的时延、丢包率等特性是随网络环境变化的.

为了研究 SCN 的时延和丢包率等特性, 采用 10Mbps Ethernet 接口的路由信令控制器 RSC(采用高性能 PC 模拟)作为测试对象, RC 具有汇聚网络流量、多播、广播能力. RSC 通过

收稿日期: 2004-07-20; 修回日期: 2004-08-01

基金项目: 国家杰出青年基金(No. 60325104); 国家自然科学基金项目(No. 90104017); 资助课题: 国家 863 项目(No. 2003AA122210); 教育部重大科学技术研究项目(No. 0215)

一个二层交换机和多个包产生器(采用 PC 模拟)连接, 每个包

产生器都连续产生信令和路由包, 其中 50% 为广播包, 每包的长度为 100 字节. RC 的转发时延和丢包率见图 1 和图 2, 得出下面的现象: (1) 随着包产生器产生的流量增加, RSC 的转发时延变大; (2) 随着包产生器产生的流量增加, RSC 的丢包率增加.

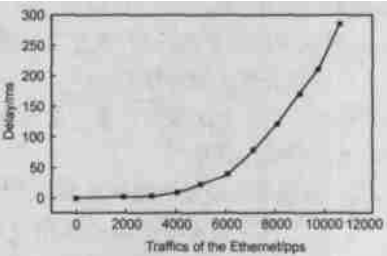


图 1 RSC 转发时延

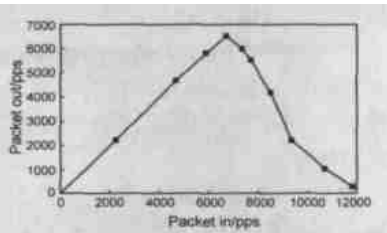


图 3 RSC 信令处理能力测试结果

在网络管理系统中, 网元和网络管理系统之间的通信量比较大, 网元之间的通信量比较小, 所以采用汇聚

或星型连接的网络比较合适. 与之相反, ASON 路由由信令的通信是分布式的, 网元之间的通信量比较多, 对这些流量进行集中连接对路由、信令的传输时延是不利的. 从分析结果看: (1) 采用星型 (Hubbed Topology)^[5] 网络作为 SCN, 通信流量是汇聚、广播、转发, 对路由信令的传输时延产生不利的影响; (2) 上面的测试结果显示, 当网络流量在 40% 以下时, RSC 的时延特性较好, 所以当组建大型网络时, SCN 的带宽也需要提高. 当采用 Directed Topology 和 Congruent Topology 作为 SCN 的拓扑结构时, 也要注意网络流量不应有汇聚和瓶颈, 以提高 SCN 中信令路由协议包的时延和丢包率的稳定性.

2.2 节点处理能力

信令呼叫、连接控制、转发在 ASON 系统中采用软件处理, 那么在单位时间内节点处理信令包的数目称为节点的处理能力, 它是和节点处理时延(即处理单个信令包所花费的时间)紧密结合起来的.

图 3 是 RSC 在 Ethernet 网络上处理行令包能力的测试结果, 在图中网络流量是由多个方向汇聚到单个节点, 汇聚流量可动态调节, 汇聚的流量用横坐标表示, 通过统计得到该节点的处理能力

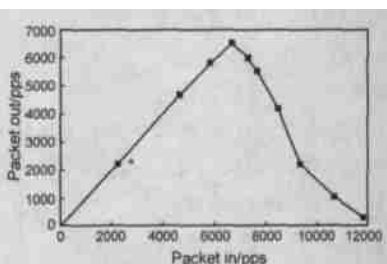


图 3 RSC 信令处理能力测试结果

用纵坐标表示, 可以看出当信令包达到 6000pps 之前, 节点的处理能力线性增长, 然后随着汇入节点的信令包过分增多时, 节点的处理信令的能力急剧下降. 原因是 (1) 随着 Ethernet 网络吞吐量的增加, 节点发送冲突增加, 节点发送包的时延大, 即难以发出包; (2) 随着信令包由多个方向汇聚到单个节点, 节点的信令包接收进程增加, 同时处理包的进程得不到释放, 即会出现死进程.

2.3 链路时延特性

链路时延是指信令和路由协议通过 SCN 链路的时间间隔, 影响 SCN 链路时延的主要因素是 SCN 链路的带宽. 设 SCN 链路的带宽为 B , 信令包的长度为 L , 则信令包通过 SCN 链路的时延为: $D = L/B$;

采用低速 SCN 链路时, 信令包在单链路的传输时延就比较大, 在连接建立和端到端连接恢复时时延也长. 采用高速 SCN 链路时, 链路时延较小, 可保证连接的建立和端到端恢复的速度.

2.4 端到端信令时延特性

实际上, SCN 端到端的传输时延是直接影响信令的传输性能, 清楚了解 SCN 端到端的传输时延特性十分重要.

设长度为 l 信令包经过路径 $P = \{(x_1, x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_{n-1}, x_n)\}$, $n \in N$, 其中路径 P 中各段链路的带宽分别对应 B_1, B_2, \dots, B_{n-1} , 经过路径中每个节点的信令包处理时延分别为 d_1, d_2, \dots, d_n , 则总的时延为:

$$D = \sum_{i=1}^n d_i + \sum_{j=1}^{n-1} l/B_j \quad (1)$$

从公式(1)看出, SCN 端到端时延与信令经过节点数目、链路的带宽、包长度有密切的关系.

2.5 基于连接恢复时间的 SCN 性能估计

连接恢复时间是目前 ASON 主要的一个性能参数, 从上面可以看出影响连接恢复时间的因素有: 网络节点对信令的处理时间, 用 $\sum_{i=1}^n d_i$ 表示, 而节点对信令包的处理时间随网络的拥塞程度等影响, 当节点的处理能力为总处理能力的 $1/2$ 时(据测试获得), 节点的处理时延是相对稳定的. 建议在信令和路由通信量大的网络中提高节点的处理能力; SCN 链路传输时延, 用 l/B_j 表示, 它是相对稳定的, 受网络影响很小;

在网络相对稳定下(主要为节点的处理能力稳定), 设连接路径 P 通过的最多节点数目为 M , 节点信令处理的最大时延为 d , 信令的最大包长为 L , SCN 链路的最小带宽为 B , 建路的过程为一个来回(即 $2^{\circ}P$), 恢复通知的最长路径为 P , 那么可以估计出连接建立的最大时延为:

$$D_s = 2^{\circ} (M^{\circ} d + (M-1)^{\circ} l/B)$$

连接恢复的最大时延为:

$$D_r = 3^{\circ} (M^{\circ} d + (M-1)^{\circ} l/B)$$

3 SCN 可靠性规划

SCN 和传输平面网络的可靠性具有同样的重要性: (1) SCN 故障的直接结果是不能建立新的连接和对原有连接的拆除; (2) SCN 和传输链路同时发生故障直接影响业务的恢复. 这就要求 SCN 的链路具有保护功能. 另一方面, 路由拓扑同步时信息的冗余广播越少越好, 即网络结构越简单越好, 路由的收敛速度和信息广播的有效性就越好.

国际上目前普遍能接受的是单链路失效后无故障恢复机制, 即不采用大量带宽过分保护, 又能保证连接的可靠性. ASON 中考虑到既要保证 SCN 的可靠性, 又要保证 SCN 的高效性. 设立单链路失效无故障恢复作为基本条件也是必要的.

在传统线路/环保护网络很容易实现单链路无故障恢复,但在ASON中就难以判断连接是否能够恢复.那么如何来规划SCN和网络保护容量呢?

3.1 单链路失效无故障恢复容量规划

为了达到单链路失效无故障恢复,首先在ASON网络的富裕容量上应满足连接恢复的需求.

条件一:设连接 C 的工作路径所需资源为 R_w ,如果存在一条备份路径所需的资源为 R_b (备份路径必须和工作路径一样分配资源),如果 R_w 和 R_b 中不存在任何资源在同一个共享风险链路组(SRLG)中,那么 C 是单链路失效无故障恢复连接.

条件一达到全部连接可恢复,需要两倍以上连接带宽,采用对备份路径分配资源的策略在ASON现有设备中也常采用.但大部分ASON设备中采用了共享带宽保护,显然可以小于该带宽,但不分配资源的备份路径没有实际的保护意义,因为备份路径的资源很快会被后来的连接占用,并且共享带宽的保护方式也不能保证每个连接都能得到保护.下面采用基于模拟的规划方案.

定义1 设网络的所有资源(称为最大容量)为 R ,实际应用的网络资源(称为实际容量)为 R_u ,则 $R_p = R - R_u$ 为规划容量.

为了建立一条单链路失效无故障的连接业务,设规划容量中链路 i 的权值为 w_{pi} ,实际容量中链路 j 的权值为 w_{uj} ,选取一个权值 Δw ,满足 $\Delta w = \sum_{k=1}^n w_{uk}$, n 为实际容量中链路的总数;在每个 w_{pi} 上增加 Δw ,表示为 $w_{pi} = w_{pi} + \Delta w$,如果采用CSPF等算法计算备份路径时,由于规划容量的权值很大,采用规划容量的代价很大,即只能在实际容量不够用才启用规划容量.

图4是规划容量的权值设置,其中实线是实际容量,虚线是规划容量,如规划容量链路 $e-c$ 的权值从图4(1)的5增加到图4(2)的 $5 + 25 = 30$.采用CSPF计算网络容量的过程为(1)实际容量被优先选用,图4中实线部分的容量被最先采用;(2)在实际容量中计算工作路径或备份路径失败后才采用规划容量,图4中虚线部分的容量最后才被应用;(3)规划容量是虚拟的,当连接业务的工作路径或备份路径用到规划容量时,提出报告,由规划人员把规划容量转化成实际容量;(4)最后需要去掉所有没有用到的规划容量.

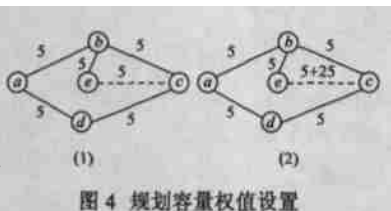


图4 规划容量权值设置

在网络连接配置完成后,首先需要进行“可靠性模拟”,模拟采用单计算机作为模拟系统,模拟方法为:

设所有的链路为 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 为连接的集合:(1)对 C 中所有连接进行选路建立工作路径并分配资源,如果实际容量不够建立工作路径时,添加规划容量,规划人员把该部分规划容量划为实际容量;(2)顺序取出 L 中一条链路 l_i ,使它单个出现故障(如果存在SRLG时可使

多条链路同时故障),对 l_i 中的所有连接 $\{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik}\}$ 计算备份路径并分配资源,如果实际容量不够时,添加规划容量,规划人员把该部分规划容量划为实际容量;(3)恢复 l_i 为正常,释放备份路径的资源,重复(2),最后得到的网络容量可以保证单链路失效无故障恢复.

单节点失效无故障恢复容量规划过程也可以采用相似的方式进行模拟并规划.

3.2 单链路失效无故障恢复SCN规划

由于SCN和传输平面的线路同时失效时有可能无法使连接得到恢复,要满足单链路失效无故障恢复不仅在预留的容量要保证连接能够恢复,而且也需要保证SCN网络满足单链路失效无故障恢复.

那么最简单的方法是在传输平面上建立一个与传输平面拓扑结构和链路都相符合的SCN,但随着节点线路的增加,这种SCN存在路由信息冗余广播的问题,所以有必要减少SCN的链路.

定义2 SCN的拓扑结构为 T ,如果任意去掉其中的一条链路 l 形成的新拓扑结构 $T' = T - \{l\}$ 是个连通图,那么该SCN是单链路失效可恢复的.

为了减少SCN的链路,同时又要保证单链路失效无故障恢复,采用的算法为:(1)首先为每条传输平面链路建立一条SCN链路,形成SCN拓扑 T_0 ;(2)去除任意两点之间的冗余SCN链路,即保证两点之间只有1条SCN链路,得到拓扑结构 T ,在每条SCN链路上加可去标志;(3)对SCN中的链路进行排序,去掉其中权值最大且有可去标志的链路 l ,形成新的拓扑 $T' = T - \{l\}$;(4)进行单链路失效模拟,模拟过程为顺序设置 T' 中的某条链路 l_x 为失效,得到新的拓扑结构 $T''_x = T' - \{l_x\}$,计算机查询判断 T''_x 是否为连通图,如果满足任意一条SCN链路失效, T''_x 仍为连通图,则 $T = T - \{l\}$,转(3);否则把链路 l 的可去标志改为不可去标志,转(3);(4)最后计算出的 T 为SCN满足单链路失效无故障恢复条件的最小拓扑.

图5是单链路失效无故障恢复SCN规划的一个实例.图5(1)是根据传输平面形成的全连接图(两点之间可能有多条链路),图5(2)是经过优化和规划后的SCN拓扑,一般,环结构是可以保证单链路失效无故障恢复的SCN最小拓扑结构.

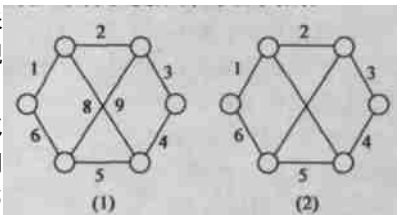


图5 单链路失效无故障恢复SCN规划

3.3 分层路由下的SCN网络可靠性规划

分层路由(Hierarchical Routing)技术把网络分成多个域,层之间采用域间路由协议(如G.7715和

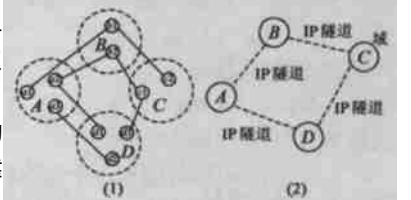


图6 SCN链路和域间通信链路的对应关系

DDRP) 进行层间通信, 域间通信采用隧道方式交换拓扑和可到达信息等. 图 6 是 SCN 链路和域间通信链路的对应关系, 图 6(1) 是 SCN 的物理链路, 图 6(2) 采用 IP 隧道形成的域间通信链路(采用 OSI 协议隧道具有相同的功能).

域间通信性能和可靠性特点为: (1) 隧道是一种高层协议通道, 它的可靠性依赖 SCN 区域边界的链路, 链路数目越多可靠性越高; (2) 为了减少域间路由和可到达信息的冗余广播, 两个域之间建立一条隧道最佳.

4 结论

SCN 的性能和可靠性直接影响连接建立的速度、连接恢复可能性和恢复速度等. 对 SCN 的性能、SCN 和网络容量的规划等问题进行研究具有重要意义. 本文研究的结论有: (1) 影响 SCN 性能的因素有信令路由控制器 SRC 的处理能力和 SCN 链路带宽, 在大规模 ASON 网络中应提高 SCN 链路的带宽. (2) 连接建立和恢复最长时间估计为 SLA 的配置提供依据; (3) 单链路失效无故障恢复容量规划能提高网络容量的利用率; (4) 单链路失效无故障恢复 SCN 规划有利于提高路由拓扑同步的效率, 减轻节点同步信息广播的负担, 同时在单链路失效的情况下保证连接可恢复.

参考文献:

- [1] ITU-T G. 8080. Architecture for the automatically switched optical network (ASON) [S]. 2001.
- [2] Peter Ashwood Smith, et al. Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) [S]. 2001.

- [3] The ATM Forum. Private Network Network Interface Specification V1.0 [S]. 1996.
- [4] ITU-T Recommendation G. 7712. Architecture and specification of data communication network [S]. 2001.
- [5] ITU-T Recommendation G. 7715. Architecture and requirements for routing in the Automatic Switched Optical Network (ASON) [S]. 2002.
- [6] ITU-T Recommendation G. 7713/Y. 1704. Distributed Call and Connection Management [S]. 2001.

作者简介:



陆月明 男, 1969 年 11 月出生于江苏, 2000 年获西安交通大学计算机系统结构博士学位, 后在 Lucent 从事研究工作, 现为北京邮电大学教授, 主要从事智能光网络和计算机网络的研究工作.



刘爱波 男, 1980 年 7 月出生于吉林, 2001 年在北京邮电大学获得学士学位, 目前在北京邮电大学电信工程学院攻读博士学位, 他的主要研究领域为智能光网络和信令控制.