

分层 ASON 网络中路由计算和连接管理策略的比较研究

张 锋, 郑小平, 张汉 |
(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 本文比较研究了分层结构自动交换光网络(ASON)中四种路由计算和连接管理策略: 基于链路状态的分层路由和前向资源预留(LS-HRRFR)、基于链路状态的源路由和前向资源预留(LS-SRRFR)、基于本地信息的路由和沿路径探测、后向资源预留(P-HRRFR)以及基于本地信息的源路由和沿路径探测、后向资源预留(P-SRRFR)。离散事件仿真的结果表明: 采用基于本地信息进行路由计算并通过沿路径探测资源使用信息来选取空闲波长的策略(P-HRRFR和P-SRRFR)相对于基于链路状态的路由计算和空闲波长选取策略(LS-HRRFR和LS-SRRFR)来说, 在分层路由情况下, 其对网络总阻塞率的改善微乎其微, 但在源路由的情况下, 其对网络总阻塞率的改善十分明显。

关键词: 自动交换光网络; 路由; 连接管理; 分层路由; 源路由

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)12A-069-05

Comparative Study of Different Routing and Connection Management Schemes in Hierarchical ASON

ZHANG Feng, ZHENG Xiao-ping, ZHANG Han-yi
(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Four kinds of routing and connection management schemes in hierarchical ASON are proposed in this paper. These schemes are Link State based Hierarchical Routing and Forward resource Reservation (LS-HRRFR), Link State based Source Routing and Forward resource Reservation (LS-SRRFR), local information and Probing based Hierarchical Routing and Backward resource Reservation (P-HRRFR), local information and Probing based Source Routing and Backward resource Reservation (P-SRRFR) respectively. The performances of these schemes in hierarchical networks are compared through discrete event simulation. The results indicate that, compared with link state based schemes, probing based schemes can improve the connection acceptance capacity of a network greatly in source routing scenarios while they hardly improve that capacity in hierarchical routing scenarios.

Key words: automatically switched optical network(ASON); routing; connection management; hierarchical routing; source routing

1 引言

最近几年,自动交换光网络(ASON)以其相对于传统光传送网络的优势(传送网络内快速、有效的连接配置,连接的动态重配置和修改等)赢得了世界各地研究单位和网络运营商的瞩目,关于ASON的研究也在世界各地如火如荼地展开:一方面,自ITU-T在2001年提出ASON的规范以来,各国际组织包括互联网工程小组(IETF)和光互联论坛(OIF)相继提出ASON相关的协议和规范;另一方面,各国科研单位组建了中、小规模试验平台^[1,2]对ASON进行功能验证和系统实验。

ITU-T将ASON定位为全球性的统一传送网,并建议将该网络分成许多较小的管理区域(Administrative Domain)分别来维护和管理,形成一种横向分域纵向分层的网络结构^[3]。虽然

目前对ASON的研究在很多方面已经取得了进展,有了一些试验平台^[1,2],但现有的ASON网络规模都比较小(几个或者十几个节点),还远远不能满足ITU-T的设计初衷。近期国内外对于ASON的研究热点集中于大规模ASON组网及其相关问题的研究,比如在OFC'03上,OIF组织了相关的演示实验^[4]。我们在文[5]中详述了分层ASON网络结构的构建和初始化过程,并对层次路由体系下ASON组网实现的一些关键技术包括路由域分层的原则、实现路由功能的原理以及分层路由体系下路由的实现方法进行了描述。

目前,对分层ASON的性能研究还处于起步阶段,网络的一些动态性能比如不同路由和连接管理策略对网络连接请求的阻塞率的影响等都没有得到深入的研究。本文将针对分层ASON网络的这一动态性能进行研究,主要比较研究了分层结

构 ASON 网络中四种路由计算和连接管理策略: 基于链路状态的分层路由和前向资源预留策略、基于链路状态的源路由和前向资源预留策略、基于本地信息的分层路由和沿路径探测、后向资源预留策略以及基于本地信息的源路由和沿路径探测、后向资源预留策略, 并通过离散事件仿真技术比较了不同策略在实际网络中的性能。

2 分层网络模型

如图 1 为分层 ASON 的模型, 该网络由 7 个第 0 层(最底层)的域构成, 这 7 个域在第 1 层(中间层)被合并为 3 个域, 最后合并为一个第 2 层(最高层)的域。在文[5]中我们已经阐述了该网络分层拓扑结构的构建过程, 本文将在此网络的基础上研究几种不同的路由计算和连接管理策略。

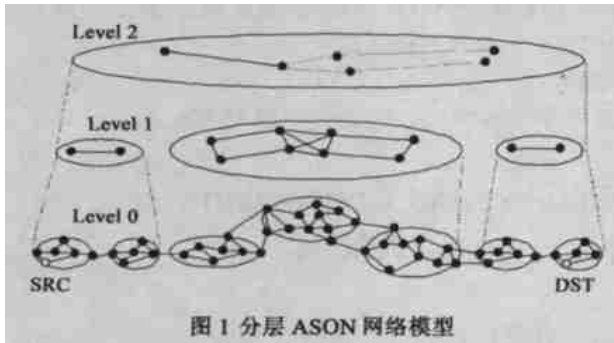


图 1 分层 ASON 网络模型

3 分层网络中的路由计算和连接管理策略

以下将研究分层网络下的四种路由和连接管理策略, 分别是基于链路状态的分层路由和前向资源预留(link state based hierarchical routing and forward resource reservation)、基于链路状态的源路由和前向资源预留(link state based source routing and forward resource reservation), 基于本地信息的分层路由和沿路径探测、后向资源预留(local information and probing based hierarchical routing and backward resource reservation) 以及基于本地信息的源路由和沿路径探测、后向资源预留(local information and probing based source routing and backward resource reservation), 以下将这四种策略分别简称为 LS-HRFR, LS-SRFR, P-HRBR 和 P-SRBR。

3.1 基于链路状态的分层路由和前向资源预留 LS-HRFR

在 LS-HRFR 方式下, 首先每个第 0 层的节点将各自的本地链路状态信息通过泛洪机制扩散到自身所在的域内, 之后每个域在第 1 层中以一个逻辑节点的方式出现, 该逻辑节点负责在第 1 层中和其他域的逻辑节点交互拓扑信息, 包括域和域之间的连接关系以及每个域内部的拓扑信息, 但是出于安全性和可扩展性的考虑, 该逻辑节点在泛洪其所代表的域的域内拓扑信息时需要将原始拓扑信息进行抽象和压缩, 或者称为拓扑聚合(Topology Aggregation)^[6], 生成一个比较简单的拓扑并将该简单拓扑在第 1 层内泛洪。当第 1 层内泛洪过程结束后, 第 2 层的逻辑节点又负责构建第 2 层的拓扑, 该过程一直重复到整个分层网络的最高层为止。

连接管理时, 收到连接请求的源节点首先判断宿节点是

否和自己位于同一个第 0 层的域内, 如果是则直接进行路由计算, 否则源节点将连接请求转发给第 1 层中代表其所在域的逻辑节点, 如果该逻辑节点不能计算出从源节点所在域到宿节点所在域的路由, 则其继续将路由计算请求向上转发给第 2 层的相应逻辑节点, 该过程一直进行直到在某层能获取从源节点所在域到宿节点所在域的路由, 如图 2 所示。

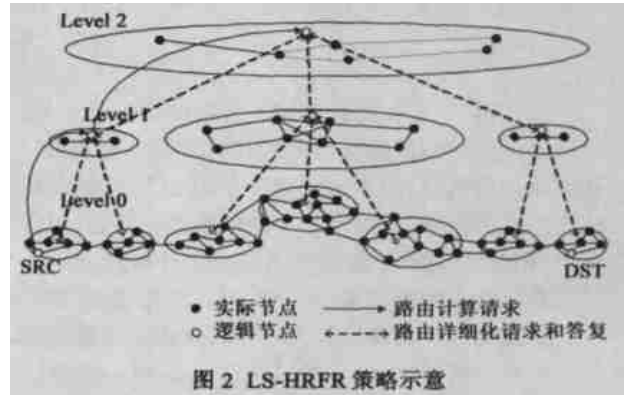


图 2 LS-HRFR 策略示意

当源节点和目的节点在同一个第 0 层的域中时, 路由计算的结果是从源节点到目的节点的一条详细路由; 当路由计算是在某一层完成时, 由于高层只有抽象和压缩过的拓扑信息, 计算出的路由一般不是从源节点到目的节点间一条详细的路由, 中间必然包含一些抽象信息, 比如在跨越某些域时, 仅给出了跨越该域的两个边界节点信息, 而并不是两个边界节点间的一段详细路由, 此时高层需要对路由计算得到的路由进行细化: 高层域的逻辑节点将计算出的路由分段, 分别交给其下层域的逻辑节点进行细化路由, 这些节点在计算出详细的路由之后, 将结果返回给上层的逻辑节点, 该过程从高层到最低层迭代完成, 如图 2 所示。当完成初始路由计算的那个逻辑节点接收到所有详细化了的分段路由信息之后, 将它们组合成从源节点到目的节点的一条详细路由, 将结果发送给源节点, 此后源节点开始连接建立的信令过程。

在 LS-HRFR 方式下, 借助于链路状态(包括链路上的波长使用信息)在每一层域内的泛洪, 在进行路由计算时可以直接获得整条路径上波长的使用情况, 进而可以选取某一空闲的波长来进行前向资源预留^[7]。

3.2 基于链路状态的源路由和前向资源预留 LS-SRFR

在 LS-SRFR 方式下, 首先通过一个和 LS-HRFR 中一样的过程构建起类似于图 1 的一个分层网络拓扑结构, 但与 LS-HRFR 不同的是, 之后 LS-SRFR 还要进行一个拓扑信息的层间交互过程, 即高层逻辑节点将抽象的信息(域的边界节点以及这些边界节点之间的连接关系)回馈给其下层的每个域^[8], 其结果是对于最底层(第 0 层)的每个节点, 不仅可以得到自己所在域的完整的拓扑和资源使用信息, 而且可以知道域间以及其他域内的一些抽象拓扑和资源使用信息。如图 3 所示给出了图 1 中某两个第 0 层域内的节点在 LS-SRFR 情况下维护的拓扑信息。

连接管理时, 收到连接请求的源节点首先根据本节点维护的全网拓扑信息计算一条从源节点到目的节点的“混合”路由^[9], 所谓混合路由是指该路由中既有详细的路由信息(源节

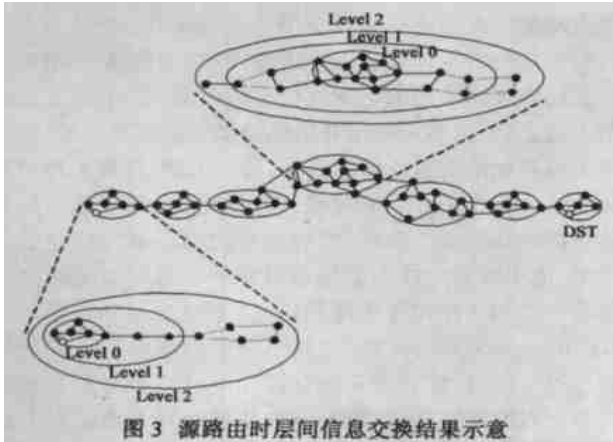


图 3 源路由时层间信息交换结果示意

点所在的最底层域中), 又有抽象的路由信息(源节点所在的最底层域以外, 仅表示跨越一个域所经过的边界节点的信息), 如图 4 所示(图中边界节点用灰色圆圈表示)。之后源节点开始连接建立的信令过程, 当信令过程从一个域进入一个新的域时, 需要进行一次路由计算, 计算出跨越该新域的详细路由并在这条路径上继续进行信令过程(如图 4 所示)。

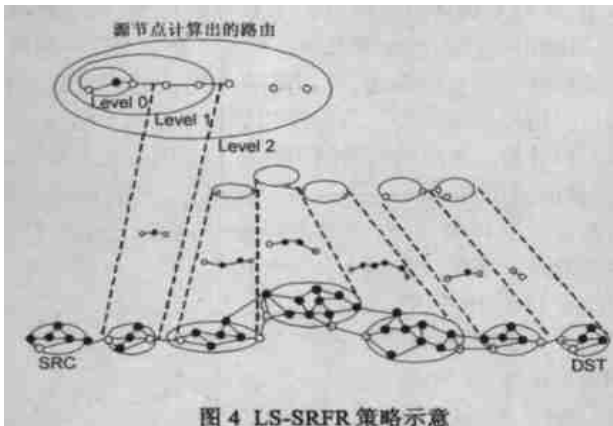


图 4 LS-SRFR 策略示意

同 LS HRFR 策略相同, 借助于链路状态(包括链路上的波长使用信息)在每一层域内以及不同层之间的泛洪, 路由计算时可以直接获得整条路径上波长的使用情况, 源节点可以选取该路径上的某一空闲波长来进行前向资源预留。但是与 LS HRFR 策略不同的是, 当宿节点不在源节点维护的拓扑中, 即宿节点并不是一个边界节点时, LS-SRFR 路由计算时的信息是不完全的, 关于这一点的讨论将在本文第 4 部分展开。

3.3 基于本地信息的分层路由和沿路径探测、后向资源预留 P HRBR

为了减少网络中泛洪数据包的数量, 减轻信令网络的负荷, 并避免由于使用过时的拓扑和资源使用信息带来的网络阻塞率增加^[10]以及当网络结构发生变化时拓扑信息收敛的问题, 提出一种基于本地拓扑信息以及沿路径探测的连接管理策略^[7, 11]。P HRBR 策略和 P SRBR 策略就是借鉴了这种方法而提出的在分层网络中的连接管理策略。

在 P HRBR 策略下, 分层拓扑结构的初始化过程仍然和 LS HRFR 策略中一样, 不同的是在 P HRBR 策略中每个节点泛洪的仅仅是网络的拓扑信息而不泛洪本地链路上的资源使用情况; 与之对应的, 路由计算的结果仅仅是一条从源到宿的

路径, 需要通过一个从源节点到宿节点的前向探测过程获取该路径上的资源使用情况并在宿节点处从空闲波长中选取一个进行后向资源预留过程来完成连接建立。

3.4 基于本地信息的源路由和沿路径探测、后向资源预留 P SRBR

P SRBR 策略中, 分层拓扑结构的初始化过程和 LS SRFR 策略中一样, 不同的是在 P SRBR 策略中节点泛洪以及层间交互的信息仅仅是网络的拓扑信息而不包括链路上的资源使用情况; 与之对应的, 路由计算的结果也仅仅是一条从源到宿的路径, 同 P HRBR 一样, 需要通过一个从源节点到宿节点的前向探测过程结合宿节点处选空闲波长进行后向资源预留过程来完成连接建立, 同 LS SRFR 一样, 该信令过程中交错着子网的路由计算过程。

4 仿真及数值分析

我们采用如图 5 所示的泛欧全光网络拓扑对前述的四种路由和连接管理策略进行比较研究。

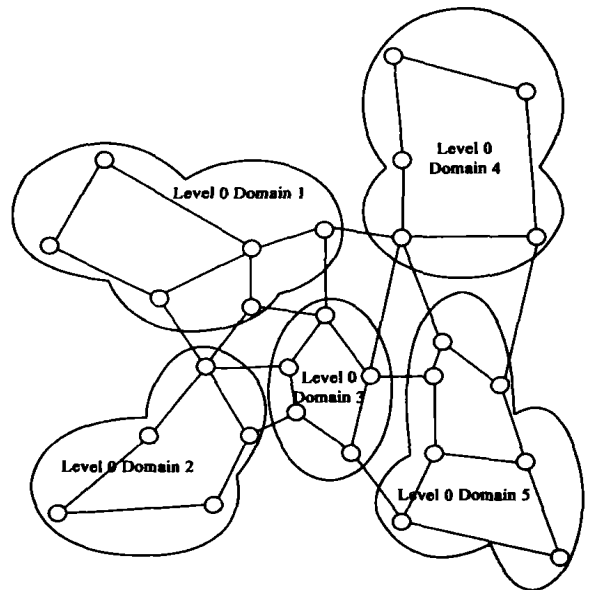


图 5 仿真实验网络拓扑

图 5 中 28 个节点首先被划分为 5 个第 0 层的域, 这些域在高层分别合并为 2 个第 1 层的域(域 1、2、3 以及域 4、5 分别被合并为第 1 层的域)和 1 个第 2 层的域。从低层向高层汇报拓扑和资源使用情况信息时的拓扑聚合方案我们选用边界节点全连接拓扑聚合^[9], 并采用面向波长路由由光网络扩展的转移矩阵技术^[12]生成每个域的聚合拓扑。仿真的业务负荷是均匀分布于全网每个节点对之间, 对每个节点来说, 连接请求按一个强度为 λ 的泊松过程到达, 连接请求的宿节点以相同的概率分布到网络中的其他节点。经过路由计算和信令过程, 如果一个连接请求被网络接纳, 则一条双向光通道在源宿节点对之间被建立起来, 其业务持续时间遵循负指数分布, 平均值 $\mu^{-1} = 5\text{min}$ 。链路状态广告(LSA)消息和信令消息在链路上的平均延时以及在节点接收发送延时均值分别为 2ms (对应约 400km 传输距离)和 $5\mu\text{s}$ (对应 100Mbps 传输速率, 消息的平均大小为约 60 字节)。通过离散事件仿真(discrete event simula

tion) 技术, 在网络中产生 10^6 个连接请求并采集相应的网络参数, 我们得到如下结果.

图 6 和图 7 分别是当网络中每条链路上可用波长数目为 16 和 32 的情况下, 分别使用前述四种策略时连接请求的阻塞概率. 从中可以看出, 在整个负载区间内, LS HRFR 和 P HRBR 的连接请求阻塞率大致相当, P SRBR 的连接请求阻塞率要略小于这两种策略但 LS SRFR 的连接请求阻塞率要远远大于另三种策略, 尤其是在小负载的情况下. 这是因为:

①对于 LS HRFR 和 P HRBR 来说, 连接建立时信令过程经过的路径都是在路由计算时获取的, 唯一不同的是分配给连接使用的波长的选取方式, LS HRFR 是在路由计算时完成波长分配而 P HRBR 是经过一个沿路径的探测过程后, 在宿节点选取空闲波长进行资源预留. 如果不考虑拓扑和资源使用信息在节点间的不同步, 这两种策略在本质上并没有什么不同.

②分层路由策略中, 路由计算是在不同层次的不同域内完成的, 在某一个特定的域内进行路由计算时仅仅考虑了该域的一些拓扑信息; 而在源路由策略中, 由于每个节点维护的拓扑信息不仅包括节点本身所在域的完整拓扑信息, 而且包括域间以及其他域内的一些抽象拓扑信息, 进行路由计算(不管是源节点的路由计算还是信令过程中需要将抽象路由信息具体化时在某些域的边界节点处进行的路由计算)时可以基于更丰富的网络拓扑信息, 其好处是路由计算得到的路径更可能是全局优化的, 比如计算出的路径的长度更短, 这样有利于改善网络的连接请求接纳能力, 这是 P SRBR 的连接请求阻塞率相对较小的原因.

LS SRFR 在连接请求阻塞率方面表现最差的原因是: 路由计算和波长分配时信息的不完全. 由于在源路由情况下, 从源节点到宿节点的路径是在源节点处计算出, 并且为了能够

进行针对某一特定空闲波长的前向资源预留, LS SRFR 策略中分配给该连接使用的空闲波长也是在信令过程开始之前在源节点选定的. 虽然 LS SRFR 策略是基于链路状态的, 但拓扑汇聚不可避免会造成信息丢失, 另一方面, 即便采用信息丢失最小的全连接拓扑^[6]来完成拓扑聚合, 当一个域的抽象拓扑信息在向其他域泛洪时, 所有的非边界节点的信息已经完全丢失. 由于源节点并不能知道自身所在的第 0 层域之外的其他域的详细拓扑和资源使用信息, 当宿节点和源节点不在第 0 层的一个相同的域内, 尤其当宿节点本身并不是它所在域的边界节点时, 源节点只能计算出到达宿节点所在域的某个边界节点的路径, 而在那个域内从该边界节点到宿节点的路径以及路径上的资源使用情况对于源节点来说都是被隐藏的, 此时要选取一个空闲波长进行前向资源预留, 最多只能保证在从源节点到选取的边界节点的路径上该波长是可用的, 这导致在 LS SRFR 策略下, 跨域连接的阻塞率相对其他三种策略来说要高很多. 图 8 显示了四种策略下, 对于源、宿节点位于相同的第 1 层域内而位于不同的第 0 层域内的那些连接请求, 其阻塞数目占全网总阻塞数目的比例, 从中可见 LS SRFR 策略中这样的连接请求阻塞要远远高于另三种策略.

从这些结果可以看出, 采用基于本地信息进行路由计算并通过沿路径探测路径上资源使用信息来选取空闲波长的方法^[7, 11]相对基于链路状态的路由计算和空闲波长选取策略来说, 在分层路由(hierarchical routing)情况下, 其对网络总阻塞率的改善微乎其微, 但在源路由(source routing)的情况下, 其对网络总阻塞率的改善是十分明显的.

图 9 和图 10 分别显示了在分层路由(hierarchical routing)和源路由(source routing)情况下, 网络中成功建立起来的连接的平均长度(跳数)与不同策略以及网络负荷的关系.

在分层路由情况下, 采用 LS HRFR 策略相对采用 P HRBR 策略来说, 连接的平均长度要长, 该现象在网络轻负载时尤其明显. 采用 LS HRFR 策略时, 连接的平均长度在轻负载(0.01~1 爱尔兰)下几乎维持不变, 当网络负载进一步加大时(1~10 爱尔兰), 连接的平均长度随着网络负载的增加开始迅速下降; 采用 P HRBR 策略时, 连接的平均长度在轻负载(0.01~1

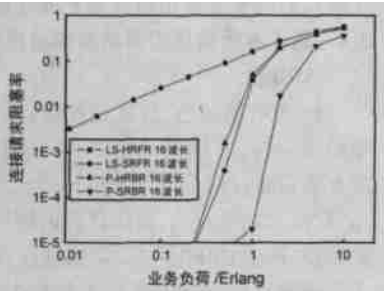


图 6 连接请求阻塞率随业务负荷变化图 (16 波长)

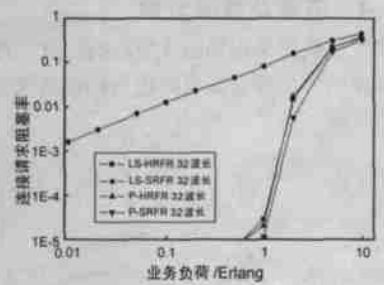


图 7 连接请求阻塞率随业务负荷变化图 (32 波长)

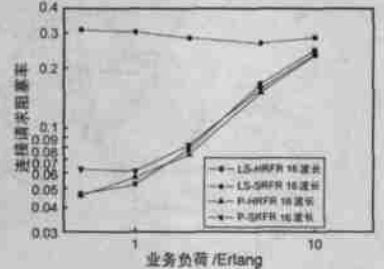


图 8 第 1 层连接请求阻塞率随业务负荷变化图

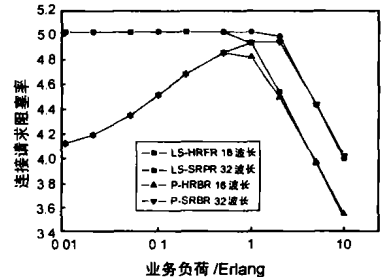


图 9 分层路由下连接平均长度随业务负荷变化图

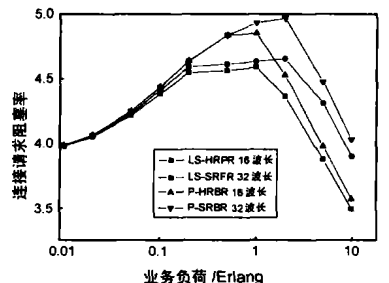


图 10 源路由下连接平均长度随业务负荷变化图

爱尔兰)下随着网络负载的增加缓慢增加,当网络负载进一步加大时(1~10 爱尔兰),连接的平均长度也开始迅速下降,并最终达到和 LS-HRFR 策略相当的水平.考虑到两种策略下全网的连接请求阻塞率相差无几,我们得到如下的结论:在网络轻负载情况下,采用 LS-HRFR 策略倾向于建立跨度长的连接而采用 P-HRBR 策略更倾向于建立跨度短的连接,在网络重负载情况下,LS-HRFR 和 P-HRBR 这两种策略表现相同.

而在源路由情况下,采用 LS-SRFR 和 P-SRBR 这两种策略时,连接的平均长度在轻负载(0.01~1 爱尔兰)下连接的平均长度随着网络负载的增加缓慢增加,当网络负载进一步加大时(1~10 爱尔兰),连接的平均长度就开始迅速下降.与分层路由情况不同的是,当网络负载在 0.01~0.1 爱尔兰区间内,两者的表现几乎相同,当网络负载在 0.1~1 爱尔兰区间内,采用 P-SRBR 策略时连接的长度要明显长于采用 LS-SRFR 策略,当网络负载在 1~10 爱尔兰区间内,虽然两种策略下连接平均长度均随网络负载增加而变短,但采用 P-SRBR 策略时连接的长度仍然要略长于采用 LS-SRFR 策略.

另一方面,通过比较这两个图可以看出,P-SRBR 策略下连接的平均长度略短于 P-HRBR 策略下连接平均长度,进一步验证了前述“采用 P-SRBR 策略有利于选取全局优化的路径来建立连接”的结论.

5 结论

本文比较研究了分层结构 ASON 网络中的路由计算和连接管理策略,所比较的四种策略分别为基于链路状态的分层路由和前向资源预留(LS-HRFR)、基于链路状态的源路由和前向资源预留(LS-SRFR)、基于本地信息的分层路由和沿路径探测、后向资源预留(P-HRBR)以及基于本地信息的源路由和沿路径探测、后向资源预留(P-SRBR).通过离散事件仿真技术,比较了四种策略在分层网络中的性能,结果表明:

①在网络的连接接纳能力方面,P-SRBR 策略要略优于 LS-HRFR 策略和 P-HRBR 策略,但 LS-SRFR 策略明显差于其他三种策略,尤其是在网络轻负载的情况下,这是由于 LS-SRFR 策略本身在路由计算和空闲波长选取时的缺欠(基于不完整的网络拓扑和资源使用情况信息)所造成的;②在网络轻负载情况下,采用 LS-HRFR 策略倾向于建立跨度长的连接而其他三种策略更倾向于建立跨度短的连接,并且随着网络负荷的增加,LS-HRFR 策略中连接的平均长度维持不变而另三种策略中连接的平均长度缓慢增加;在网络重负载情况下,四种策略中连接的平均长度随着网络负荷的增加快速下降.

参考文献:

- [1] C Cavazzoni, V Barosso, et al. The IP/MPLS over ASON/GMPLS test bed of the ISF project LION[J]. IEEE J of Lightwave Technology, 2003, 21(11): 2791-2803.
- [2] X Zheng, F Zhang, et al. Simulation and test bed demonstration for the

comparison of two kinds of optical network signaling[A]. Proceedings of ECOC 2003[C]. Rimini, Italy, 2003.

- [3] ITU-T Rec G 8080, Architecture for the automatic switched optical network (ASON)[S]. 2001, We3. 1. 3.
- [4] OIF at OFC 2003[Z]. http://www.oiforum.com/publi/ofc_2003.html.
- [5] Zheng Xiaoping, Zhang Feng, Feng Feifei, Zhang Hanyi. Architecture and Implementation for Routing in the Automatically Switched Optical Network[J]. Dianxinke, 2003, 8: 29-32.
郑小平,张锋,等.自动交换光网络的分层路由体系及其路由实现方法[J].电信科学,2003,8:29-32.
- [6] W C Lee. Topology aggregation for hierarchical routing in ATM networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1995, 25(2): 82-92.
- [7] X Yuan, R Melhem, et al. Distributed control protocols for wavelength reservation and their performance evaluation[J]. Photonic Network Communications, 1999, 1(3): 207-218.
- [8] OIF. Draft OIF specification for intr carrier E-NNI routing using OSPF[S]. 2004.
- [9] A Iwata, N Fujita. A hierarchical multilayer QoS routing system with dynamic SLA management[J]. IEEE J. on Selected Areas in Communications, 2000, 18(12): 2603-2616.
- [10] R Guerin, A Orda. QoS based routing in networks with inaccurate information: theory and algorithm[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(3): 350-364.
- [11] A Shami, C Asi, et al. Performance evaluation of two GMPLS based distributed control and management protocols for dynamic lightpath provisioning in future IP networks[A]. Proceedings of IEEE ICC' 2002[C]. New York, NY, USA, 2002. 2289-2293.
- [12] F Zhang, X Zheng, et al. A kind of topology aggregation algorithm in hierarchical wavelength routed optical networks[J]. Accepted by Photonic Network Communications.

作者简介:



张 锋 男,1980 年 4 月出生于上海,2002 年 7 月于清华大学电子工程系获学士学位,现为清华大学电子工程系硕士研究生,研究兴趣为下一代光网络体系结构 GMPLS/ASON 以及智能光网络中的路由和信令等. E-mail: zlf02@mails. tsinghua. edu. cn

郑小平 男,1965 年 8 月生,1998 年于清华大学电子工程系获博士学位后,留校从事光纤传输与网络的教学与科研工作,先后承担或作为主要骨干参与包括 863-307“WDM 光网络交换技术”,863-317“全光通信实验网”,863-307“WDM 全光网中的 OADM/OXC 节点技术研究”,863-300“中国高速信息示范网光交叉连接设备的研制”,国家自然科学基金重大项目“WDM 全光网基础实验平台的研究”等在内的多项科研项目,以第一人身份申请国家发明专利 5 项,其中 1 项已获授权,获国防科工委科技进步三等奖一项,在国内外核心刊物已发表 40 余篇论文,其中 SCI 杂志 13 篇,EI 杂志 21 篇.