

99,26(8)
1-5,12

多协议标签交换

Internet网

ATM

1-58

多协议标签交换进展

Advances in Multiprotocol Label Switching

林永旺 钱华林

(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

TP393

1-58

Abstract Multiprotocol label switching is a new technology of combining IP and ATM networking technology. The Internet Engineering Task Force is finishing its standard. MPLS can improve the speed, extend the scalability and provide new services in the Internet. In this article, we first review the current IP over ATM technology, compare their merits and demerits. Then we mostly discuss the architecture and design of MPLS. Some related issues are also presented.

Keywords IP, ATM, MPLS, Label switching

1. 引言

Internet 自 90 年代以来发展迅速, 到目前已有超过 3000 万台主机, 上网人数超过 1 亿人。这主要是因为 WWW 应用的出现, 使 Internet 从一个面向研究团体的网络发展为大众化的公共数据网。但是随 Internet 规模急剧膨胀的是, Internet 骨干网上需传输的数据越来越多。另一方面, 人们一直努力在 Internet 网上发展新业务, 如电子商务, 在 IP 上传输语音、图像、视频等, IP 网正从单一的数据网络发展成一综合业务网络。这要求因特网不仅要增加规模和带宽, 而且要寻找更好的寻路技术减轻路由器的压力以及为新业务提供不同于数据传输的服务质量(QoS)。

MPLS(多协议标签交换)技术是 IETF (Internet Engineering Task Force) 解决这些问题的一种方案。它既吸收了 IP 路由选择的灵活性, 又吸收了 ATM 交换快速高效的优点, 是未来路由技术的发展方向。MPLS 使用 label swapping 转发技术, 取代传统的基于目的地的逐跳寻径方式, 简化了包转发方式, 提高了路由器传输速率, 路由器速率可达太(10¹²)位/秒。另一方面, MPLS 技术将路由寻径与数据包转发两者分开, 这样单独改变路由选择方式时不会影响数据包转发, 在因特网平稳升级过程中, 采用层次寻径方式, 限制路由器路由表项增长是相当重要的任务。而 MPLS 不需要考虑寻径的层次结构直接在不同层次之间交换数据, 不会增加路由器

负担, 相反, 随着更好路由选择协议的采用, MPLS 将减少核心路由器的路由表项。另外, MPLS 允许 label 带不同的粒度, 便于在网络中使用不同策略。本文首先简要回顾 IP 和 ATM 结合的各种技术, 然后讨论 MPLS 体系结构以及一些需解决的问题。

2. 叠加方式

叠加方式将 ATM 看做新的数据链路层, 利用 IP 层的灵活性, 在 ATM 层上构造网络层, 形成逻辑 IP 子网(LIS)。在叠加模式中, IP 子网和 ATM 网各自有自己的一套地址和寻径方式。下面介绍两种实现方式: 传统 IP 模型和 LANE 模型。

2.1 CIP 模型

CIP(Classical IP over ATM)由 IETF 工作组在 RFC1483 和 RFC1577 中定义并规范。CIP 模型把 ATM 网上的主机看作是通过共享介质连在一起, 通过组合形成逻辑 IP 子网。LIS 网中主机性质类似以太网主机, 比如规定最大传输单元, 要求地址解析。与以太网不同的是, 由于 ATM 本质上是非广播的, 在 LIS 内设有一个 ATM ARP server 地址解析服务器, 负责完成子网上不同主机的 IP 地址和 ATM 地址的映射。当在 LIS 增加新主机时, 新主机首先利用预先配置好的地址和地址解析服务器建立连接, 向服务器登记其地址信息。当主机需要和其它主机建立连接时, 若它不知对方主机的 ATM 地址, 则向地址解析服务器发送地址解析请求, 服务器返回被请求的主机的 ATM 地址。两台主机然后通过

ATM 信令(signaling)建立 SVC 并开始通信。然而不同逻辑子网之间的 IP 报文交换必须经过路由器才能进行,造成传输效率降低。为了克服 CIP 这一弱点,IETF 推出了下一跳地址解析协议(NHRP)。NHRP 是跨逻辑子网的 ATM 地址解析服务器。NHRP 基于客户/服务器模型工作。客户(主机或路由器)向最近的 NHRP 服务器请求解析地址,服务器若没有所要的 ATM 地址,则顺着 IP 路径方向向其它 NHRP 服务器逐跳转发请求,如果主机在同一个 ATM 网上,则向客户告知主机 ATM 地址,如果主机不在同一个 ATM 网上,服务器则向客户告知出口路由器的 ATM 地址,然后通过发送信令在两地址建立连接并开始通信。

2.2 LANE 模型

ATM 局域网仿真(LANE)是 ATM 论坛开发出来的叠加模型。ATM 论坛提供 LANE 的目的是提供在 ATM 网上传送现有数据链路协议的标准方法,支持从传统共享介质的 LAN 向 ATM 网的过渡,将 ATM 引入到局域网领域,同时保护用户在现有网络下的投资。采用 LANE 时,在 ATM 网上仿真原有局域网功能(Ethernet or Token Ring),如共享介质功能和 MAC 子层服务。对用户而言,ATM 的各种功能都是透明的,LANE 把 ATM 交换机对更高层协议所要求的连接功能屏蔽起来,把基于 MAC 地址的数据链路协议变成 ATM 虚连接,ATM 网络所表现出来的是原有局域网的特性,各种高层协议和软件硬件不需要加以改变就可以在 LANE 上使用。这样既保护了原有投资,又利用 ATM 高速传输的优点,使 ATM 在局域网领域具有竞争力。

LANE 定义了两个主要软件组成部分:LAN 仿真客户机(LEC)和 LAN 仿真服务器(LES),此外它还提供了局域网仿真配置服务器(LECS)以及广播和未知服务器(BUS)。LECS 保存 LANE 网的客户机的各种配置信息。客户机与 LECS 建立虚连接,从 LECS 中得知 LES 地址信息并通过与 LES 建立连接向 LES 登记自己的地址。当客户机 A 要向客户机 B 发送信息时,由于不知道 B 的地址,A 首先向 LES 服务器发出 LE-ARP 请求,询问 B 的 ATM 地址。如果服务器中保存有 B 的 ATM 地址,服务器通过 LE-ARP 应答将 B 的地址传送给 A。如果服务器没有 B 的地址信息,A 向 BUS 服务器发送地址请求,然后 BUS 向所有客户机广播(A 除外),当 B 收到广播请求后,B 向 BUS 发送自身的 ATM 地址信息。

然后 BUS 将 B 地址返回 A,A 收到 B 地址后,A 与 B 之间建立 SVC 虚连接,然后通信。

同样地,在不同 LANE 之间只能通过路由器转发数据包。ATM 论坛发展 LANE,推出多协议规范 MPOA。MPOA 将 LANE 和 IETF 的 NHRP 协议结合,在同一子网内部,LANE 在 ATM 上仿真 MAC 功能,子网内利用 LANE 技术进行通信;不同子网的主机通过 NHRP 发送 ATM 地址查询,然后利用 ATM 信令协议建立 ATM 虚连接。

2.3 叠加技术的缺点

叠加模式利用了 ATM 高速交换特点,能够提高网络传输性能。同时它仅仅是初步把 ATM 应用于 IP 环境中,局限性较大。比如在逻辑子网中,每台主机之间通过建立虚连接通信,形成一个网状结构,当逻辑子网内主机数目增大时,每台主机的连接增加,主机建立、维护、撤消连接的开销也随之增大;另一方面,路由选择的计算量也随连接数的增加而增加。这表明叠加模式在主机数大时扩展性不好。在叠加模式中,不同子网间通信要依靠路由器转发,没有充分利用 ATM 交换机。尽管利用 NHRP 协议可以建立跨子网连接,但也引入了建立连接所带来的开销,同时地址解析响应时间增大,引入额外延迟,而且实现起来很复杂。

ATM 交换的一个重要特性是它提供业务的 QoS 服务。采用叠加机制基本上放弃了 ATM 这一特点,对用户而言,网络给它提供的业务仍是“best-effort(尽力传输)”式的,只是网络传输速度更快。而 ATM 自身的地址和协议给网络的配置、维护带来了新的复杂性,ATM 交换益处叠加模式中并不大。为了在 IP 网中更好地吸收 ATM 交换的优点,克服叠加模式的缺点,同时保持 IP 寻径的优点,人们提出了 IP 与 ATM 结合的新途径:IP 交换(switching)。具体的是让交换机参加 IP 的寻径,把交换和路由综合在一起,路由器既有路由选择功能,又有交换功能。通过在 IP 上增加 QoS,提供 IP 上的 QoS 服务。

3. 综合方式

这一节我们简要介绍 MPLS 出现之前的 IP 交换技术。在综合方式中,在 ATM 交换机上增加了一个路由选择模块,成为交换路由器。主机通过路由器寻径后,不使用 ATM 自身的信令协议建立连接,而是采用非标准信令(仅使用基本的交换功能)建立连接。ATM 主机不需要分配 ATM 地址,只需 IP 地

址,省去了 IP 与 ATM 地址的转换。我们下面介绍两类主要的 IP 交换技术。

3.1 IP Switching(IP 交换)

IP 交换是由 Ipsilon 公司提出的综合模式。IP 交换系统由 IP 交换机和 IP 交换网关组成。IP 交换机由 ATM 交换机和 IP 交换控制器组成。IP 交换控制器由路由软件和专用控制软件组成,一个是 ATM 交换机与 IP 交换控制器之间的通用交换机管理协议(GSMP),另一个是 IP 交换机之间的 Ipsilon 流管理协议(IFMP),IP 交换网关由 IP 交换控制器和 ATM 适配器组成。IP 交换网关连接外界 IP 网和内部 IP 交换网。IP 交换机在 IP 交换网内执行 IP 寻路和把 IP 流从网络层转发移到交换层转发。其工作过程为:当一个 IP 流开始发送数据时,报文传送到 IP 交换控制器,IP 控制器按传统的 IP 包转发方式转发包。当来自流的报文超过一给定的阈值(称这种流为长流)时,控制器使用 IFMP 协议为长流分配标记,在交换机之间建立一条虚通道,这样把流数据转发移到第二层发送。

3.2 Tag Switching(标记交换)

标记交换是 Cisco 公司提出的另一类 IP 交换方式。它把 ATM 层交换技术和路由技术综合起来,并且支持 QoS。在 Tag Switching 中,入口路由器负责根据数据包的 IP 地址把数据包分类,用 tag 标识,交换机根据 tag 转发包,在出口路由器处,去除数据包的 tag,然后按一般的 IP 转发方式转发包。标记交换能支持不同的路由协议和各种网络层功能,具有后面所说的 MPLS 的许多特征。不过它是 Cisco 公司的专有技术,只能在端到端连接都为 Cisco 网络设备才能实现。

4. MPLS 体系结构

MPLS(Multiprotocol Label Switching,多协议标签交换)是 IETF MPLS 工作组在标记交换基础上进行的。目的是将各种综合技术标准化,包括标准化一系列协议,比如标签维护和发布,QoS,在不同链路层上的工作规范。MPLS 目标是提高网络可伸缩性、业务管理能力和性能价格比。MPLS 有转发和控制两个基本部件。转发部件根据数据包中的简单的有固定长度的信息单元(标签)和标签转发信息库转发数据包;控制部件基于网络层协议,利用传统的目的地寻址方式,维护路由信息,维护和发布标签转发信息。

4.1 标签转发

对于 MPLS 网络,当标签交换路由器(LSR)接收到含有标签的数据包时,LSR 读出标签,将标签作为索引,匹配 NHLFEs(next hop label forwarding entry)入口。如果 LSR 发现一 NHLFE 入口标签项与索引标签完全匹配,LSR 根据 NHLFEs 项的其它信息(如封装方式和输出端口等),用输出标签替换包的索引标签,然后按照指定输出端口向下一跳转发数据包,这一过程与 ATM 交换过程极为相似,转发的优点有:

(1)转发机制采用一种完全匹配的算法,使用简单的有固定长度的标签作为索引,简化了网络层传统使用的最长地址前缀匹配转发方式,提高了转发性能,而且容易利用硬件实现。

(2)转发过程与路由选择过程独立,可以支持不同的路由选择协议,当改变路由选择协议时,不需要重新修改软硬件。

(3)在 MPLS 网内部,标签交换路径一经建立,则不需要在内部查找路由表,匹配路由信息,只需在入口节点查找即可,简化了数据包转发过程。

4.2 标签发布

控制部件维护从路由选择协议(如 OSPF, BGP)得来的路由信息,根据路由信息决定如何构造和向 MPLS 对等体发布标签。路由信息将转发空间划分成转发等价类(FEC),沿着同一通道的数据包有相同的 FEC,这些数据包被称为一条流束(Stream),它们以相同方式转发。FEC 则被编码成一些简单的有固定长度的标签(label),映射到 NHLFEs 上,封装在数据包中。标签发布协议(LDP)负责标签发布,MPLS 相邻体之间进行 LDP 对等会话,互相交换标签发布和撤消信息,MPLS 节点收到来自下游节点的输出标签时,分配一个进入标签,并且向上游相邻体发布。这样,MPLS 网通过 MPLS 对等体会话,在不同节点绑定输入标签与输出标签,把通道扩展成一条标签交换通道(LSP)。

LDP 协议支持两种标签发布方式:独立发布和按序发布。在独立发布方式中,每个交换节点独立地将标签和流绑定在一起。在按序发布中,出口节点首先将流与标签绑定,然后向上游节点发布标签,逐跳绑定标签与流。独立发布缺点是下游还没收到标签时,上游即已通告标签,同时由于节点互相独立发布,有可能将不同粒度标签与流绑定,导致不同节点作出不同的决定,造成冲突。按序发布避免了这些缺点,但是却引入了延迟,优点在于可以防止回路,提供发布策略和 QoS。在 MPLS 中同时提供这两种发

布方式。

4.3 标签封装

标签信息可以多种方式加入到数据包中,以适应不同的链路层要求。(1)夹缝头:作为一个小夹缝头(Shim Header)插入到链路层和网络层数据包头之前。(2)作为网络层头的一部分或作为第二层头的一部分(如 ATM)。(3)直接封装数据包,因此,通过灵活的标签封装,MPLS 可以支持几乎所有介质类型。

4.4 标签分配

在 MPLS 网中,根据 IP 流方向区分上游与下游,顺流方向为下游,逆流方向为上游。标签分配有两种方式:下游分配方式和下游按需分配方式,都是由下游对等体发起完成的。在下游标签分配中,标签由流的下游节点产生,然后在 NHLFEs 中建立一个具有进入标签的入口项来分配标签,然后向对等体通告标签与其相邻标签交换路由之间的绑定。当上游 LSR 接收到路由标签绑定信息,并经该路由下一跳识别后,交换机将标签替换成路由相关的 NHLFEs 项的输出标签,就建立了输出标签与路由之间的映射,在按需下游标签分配方式中对于 NHLFEs 中的每一个路由,LSR 标记了其中一跳,然后通过 LDP 向该路由由绑定下一跳发出请求,下一跳接收到请求后,分配标签,并在其 NHLFEs 中建立一个具有进入标签的入口项,完成进入标签与 NHLFEs 之间的映射,然后向发出请求的 LSR 返回进入标签与路由之间的绑定。LSR 接收到绑定信息后,便在自己的 NHLFEs 中建立一个入口,并将其输出标签设置为下一跳接收的值。

4.5 标签栈

在 MPLS 网中,数据包可以同时携带多个标签,组成标签栈。对于 m 级标签栈,最低层称为第 1 级,最上层称为第 m 级,同时,我们可以把未带标签的数据包看作是具有 0 级栈的数据包。标签堆栈的目的是为了提供一种类似 IP 隧道和显式路由能力。考虑一条通道(LSP) $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$, R_1 为入口 LSR, R_m 为出口 LSR。当数据包到达 R_1 时, R_1 用一个 m 级标签与数据包绑定,然后发往下一节点 R_2 , 在 R_2, \dots, R_{m-1} 节点, LSR 只在栈的顶部替换第 m 级标签。当数据包到达 R_m 时, R_m 将顶端标签弹出栈,然后数据包根据 $m-1$ 级栈标签信息发往外部边缘 LSR。MPLS 还支持在倒数第二个 LSR, R_{m-1} 将第 m 级弹出栈并发往出口 LSR, R_m , 简化栈的操作。在没有栈的情况下,当 $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$ 内部交换标签到达 R_m 后,标签交换完毕,数据包未带标签, R_m 重新根

据路由信息选择路径,按传统的目的地址寻址方式转发数据包。

从标签栈的工作过程可以看出,标签堆栈减少了不同域之间路由信息负荷,同时也减少了路由选择阻塞时间。利用标签分级,我们可以实现类似于源端路由选择的显式路由功能,便于管理网络,我们可以利用标签栈,实现各种路由选择策略。

4.6 RSVP 流

MPLS 与 RSVP 协议一起提供服务质量控制(QoS)。MPLS 为每个 RSVP 流分配标签,在 RSVP 中,发送者向接收者发送一个路径信息,接收者发送一个 RESV 信息,告诉网络保留一定的资源。RESV 信息在发送者和接收者之间建立一个 RSVP 路径,为传送提供一定的 QoS。当 MPLS 与 RSVP 一起使用时,LDP 协议将 RSVP 路径与标签绑定在一起,标签建立之后,RSVP 流就和其它类型流一样转发,这样 RSVP 流在 MPLS 内部和非 QoS 流统一起来,简化了 RSVP 流处理。

4.7 多目传输

在 MPLS 网中,交换节点 LSR 首先利用现有的多目传输路由协议(如 IGRP)建立一条多目传输树。树中的 LSR 节点绑定标签与树的各部分,最后就形成一跳多目传输的 LSP 通道树。MPLS 网有两种办法将标签与树绑定在一起,一种办法是扩展多目协议,将标签附在协议控制信息中,在顺着通道建立的同时,为通道分配标签并向通道中的相邻节点发布。另一种办法是利用单独协议(如 LDP),根据多目传输树,按下游标签分配方式分配标签并沿树发布。通常,加入多目树的第一个 LSR 为组分发标签,其余 LSR 则共享这一标签。

4.8 ATM 上的 MPLS

当 ATM 交换机采用传统的路由选择方式进行寻径,然后采用 VPI/VCI 作标签建立通道连接时,我们称它为 ATM LSR,以示区别。它与小夹缝(shim)LSR 有一些不同,下面介绍其不同点。

在 MPLS 网中,一项重要功能是标签合并,以减少标签数量,提高网络的伸缩性。标签合并不会影响交换的性能,然而在 ATM LSR 中,合并不一定总是可行的。ATM 交换机在合并不同 VC 时面临的问题是合并后,不同 VC 的信元交织在一起,交换机没有提供机制识别出属于不同连接的信元。在 ATM LSR 中实现合并有两种办法。一种是在 VP 级合并,通过给每个 VP 分配不同于其它 VP 的 VC 识别信元,达到合并目的,还有一种方法是利用 AAL5 层

封装,识别包,当 LSR 接收到信元时,它把信元暂时存起来,直到接收到一个完整包。

由于路由选择协议采用分布式计算确定路由,当网络拓扑发生变化时,有可能暂时形成回路;而 MPLS 的 LSP 是基于路由信息的,同样地,如果没有回路预防/检测机制,MPLS 网同样会出现回路。在 IP 寻径技术中,IP 路由选择协议利用数据包报头的 TTL 域,减轻回路造成的损害。TTL 域在数据包每经过一跳时,TTL 值减 1,当 TTL 值减为 0 时,该数据包即被丢掉,MPLS 提供了两种方法:预防和检测。在回路检测中,每个节点在 MPLS 发布信息的路径向量域指定唯一标识 ID。当一个节点收到来

自上游 MPLS 的发布信息,它查看路径向量域,如果发现自己的 ID 出现在域中,表明流已形成环路,它将中止这条路径。若没有,MPLS 在转发标签信息时,在路径向量域中加上自身 ID。在回路预防中,与检测不同的是,MPLS 除了利用路径向量域外,采用了扩散算法来达到预防回路的目的。对于一给定流,当一个 MPLS 节点发现下一跳节点已发生变化时,它在分配新的下游标签时,首先通过扩散计算,发现新标签与输入标签的联编不会使路径形成回路后,才采用的新发布标签。

4.9 MPLS 工作过程

1)边缘路由器与 MPLS 路由器一起通过 ATM

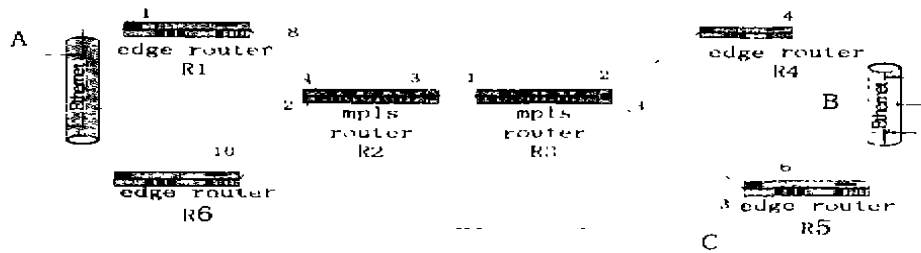


图 1 MPLS 工作过程

连接或其它连接(帧中继等)构成一个 MPLS 交换网。

2)当新的会话发起,IP 数据包第一次通过 MPLS 网寻径时,MPLS 节点利用 IP 路由选择协议(OSPF,BGP)寻径,获得路由信息,建立路由表。

表 1 图 1 中 R3 节点的标签信息库和转发信息库示例

转发信息库				
目的地址	业务类型	转发等价类	下一节点	输出端口
A	X	A1	R2	1
B	X	B1	R4	2
B	Y	B2	R4	2
C	X	C1	R5	3

标签信息库				
转发等价类	输入标签	输入端口	输出标签	输出端口
A1	BL1	2	AL1	1
A1	CL1	3	AL2	1
B1	AL1	1	BL1	2
B2	AL2	1	BL2	2
B1	CL2	3	BL3	2
B2	CL3	3	BL4	2
C1	BL2	2	CL1	3
C1	AL3	1	CL2	3

3)MPLS 节点将路由信息映射到标签信息库,利用 LDP 协议分配标签,构造标签转发信息库,形成一条标签交换路径(LSP)。

4)边缘路由器将标签封装在数据包上,然后向下一 MPLS 路由器转发。

5)MPLS 路由器根据到达数据包上的标签,查找自身的标签信息库,匹配输入标签,用匹配项里的输出标签替换数据包的标签,将数据包往对应的输出端口发送。

6)当数据包到达边缘出口路由器时,路由器去掉数据包上的标签,重新按照 IP 层的路由表向下一节点发送数据包。

5. MPLS 面临的一些问题

MPLS 在标准化过程中,一些问题已经解决,如 LDP,标签的分配与维护,标签的发布等,还有些问题需要考虑和加以深入研究。其中的一些问题是:

• MPLS 与原先所采用的叠加模式的 ATM 网的互连互通性。如何消除它们之间的边界。

• 在分级寻路体系中,需要进行路由总结,以防止路由表膨胀。这样当 LSP 到达路由总结节点时将终止。此时数据包按传统的 IP 包转发方式转发,因

(下转第 12 页)

- Cyb.1973,SMC-3(6)
- 6 Tamura H, et al. Texture features corresponding to visual perception. *IEEE Trans. on Sys, Man, and Cyb.* 1978,SMC-8(6)
 - 7 Ma W Y, Manjunath B S. A comparison of wavelet transform features for texture image annotation. In *Proc. IEEE Int. Conf on Image Proc.* 1994
 - 8 Ma W Y, Manjunath B S. Texture Features for browse and retrieve of image; [Technical Report 95-06] University of California at Santa Barbara, 1995
 - 9 Santini S, Jain R. Similarity Match. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996
 - 10 Manjunath B S, Ma W Y. Image Indexing Using a Texture Dictionary. In: *Proc of SPIE Conf. on Image Storage and Archiving Systems*, volume 2606
 - 11 Tversky A. Features of similarity. *Psychological review*, 1997, 84(4): 327~352
 - 12 Niu Youping, et al. A study of image indexing techniques for multimedia database systems: [Technical Report TR95-19]. 1995
 - 13 Zhang H, Zhong D. A Scheme for Visual Feature Based Image Indexing. *Storage & Retrieval for Image and Video Database*. SPIE, 1993
 - 14 Charickar M, et al. Incremental clustering and dynamic information retrieval. In: *Proc. of the 29th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 1997. 626~635
 - 15 Rui Y, et al. Relevance FeedBack. A Power Tool for Interactive Content-Based Image Retrieval. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Special Issue on Interactive Multimedia Systems for the Internet, 1998

(上接第5页)

为标签栈技术是针对特定路由的,它也不能用于路由总结节点,否则将破坏层次结构,将交换带来的益处抵消。

• MPLS 虽然支持 QoS,但是在现实中目前只有 IP 这种“尽力传输”业务, QoS 实现的效果不可知。

• MPLS 虽然定义了回路预防/检测,但何时要求回路预防/检测,是否在所有 LSR 上都实行,仍有待进一步研究。

结束语 MPLS 是当今路由技术的发展新方向, MPLS 将路由选择与数据转发分离,既吸收了第二层交换的优点(快速高效、提供 QoS 服务),又保留了传统 IP 寻径的灵活性,是解决因特网所面临的一系列问题(伸缩性,向综合业务网的演变等)的一种优秀的解决方案,随着标准化的完成,是 IP 与 ATM 结合技术的发展方向,必将极大地推动当今的因特网的发展。

参 考 文 献

- 1 Rosen E, et al. Multiprotocol Label Switching Architecture. Internet draft, July 1998
- 2 Thomas B, et al. LDP Specification. Internet draft, Aug 1998
- 3 Davie B, et al. Use of Label Switching With ATM. Internet draft, July 1998
- 4 Ayandeh S, Fan Y. MPLS Routing Dynamics. Internet draft, Mar 1998
- 5 Awduche D, et al. Extensions to RSVP for Traffic Engineering. Internet draft, Aug 1998
- 6 Rosen E, et al. MPLS Label Stack Encoding. Internet draft, July 1998
- 7 Gray E. Issues With MPLS Architecture. Internet draft, Mar 1998
- 8 Fenner W. Internet Group Management Protocol (version 2). RFC 2236, Nov 1997
- 9 Davie B, et al. Use of Label Switching with RSVP. Internet draft, Nov 1997
- 10 张宏科,等. ATM 网络互连原理与工程. 清华大学出版社, 1996