

宽带 IP 网络构建技术^{*}

范冰冰

(广州通信学院, 广东 广州 510500)

摘要: IP 已是网络承载的主要业务, 怎样构建适应 IP 快速发展的骨干 IP 网络平台倍受关注。重点讨论了宽带 IP 承载网络技术 ATM、Ethernet、SDH、DWDM 和 MPLS 传送 IP 的特点, 并指出了各自面临的问题和发展趋势。

关键词: 宽带 IP 网; 骨干网

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) S1-0020-04

1 ATM 网络承载 IP

为解决因特网互联速度, 20 世纪 90 年代中期引入了当时高速的 155M ATM, ATM 是 Internet 第一次提速的主要技术。IETF 推荐的 Classical IP over ATM (CIPOA) 是早期 ATM 支持 IP 的主要形式。在 CIPOA 中, 主要通过 ATM 的 PVC 建立相邻路由器之间的互连, 在广域范围内构成路由器通过 ATM 网进行相互通信的逻辑 IP 子网 (LIS), 这种结构形式利用 ATM 汇聚减少路由器高端接口, 利用 PVC 路径改善了 IP 网络结构, 以及利用高速 ATM 电路完成 IP 网互联。在第 2 层 ATM 网上迭加一个第 3 层 IP 网的迭加结构中, CIPOA 使用了基于服务器/客户机模式的 ATMARP 协议代替了 IP 广播式 ARP 协议, 数据包直接通过 AAL5 适配层映射为成 ATM 信元。解决了 IP 地址和 ATM 地址的直接映射问题, 可以在 LIS 利用 ATM 的高带宽, 较好地解决了 IP 传输速度和路由器瓶颈问题。

但在不同 LIS 内的计算机通信时还必须经过中间路由器, 仍存在路由带宽瓶颈。CIPOA 中地址解析所支持的用户规模有限制, 存在可扩展性问题, 故也只适应于较小规模的 IP 网络。

为了充分利用 ATM 的高速通信能力, 克服了 CIPOA 和局域网仿真 LANE 的局限性, ATM 论坛提出 Multiprotocol over ATM (MPOA), 它能够高效可伸缩地在 ATM 上支持多种网络协议, 并支持网络层的虚拟子网。MPOA 集成了 LANE、

CIPOA、NHRP 等协议功能, 使用现有的路由协议, 不需要传统的路由器完成数据包的转发, 而由路由服务器完成地址与路由的解析。它将数据包的转发和路由功能分离, 能够与路由器具有互操作性, 不同 LIS 间客户通过直通路由直接转发三层的数据包, 而不再需要重组和分段, 以达到在 ATM 网络中传送高速 IP 业务流。CIPOA 和 MPOA 均属于迭加模式, 迭加模式最大特点是与标准的 ATM 网络及业务相兼容, 使用 ITU-T 的 ATM 信令标准和接口。迭加模式试图在 IP 和电路之间建立一种映射关系实现 IP 和 ATM 之间的互操作。实际试验和运营已基本表明: 在 ATM 和 IP 两种差异性很大的技术之间做翻译是困难的, 它使网络进一步复杂化、增加网络开销形成链路低效率, 也无法克服服务器地址解析所造成的传输瓶颈, 且 ATM 服务质量实际也无法在 IP 中完全对应。迭加模式另一个主要问题是可扩展性和故障恢复, 当增加一个新的路由节点或一旦某个路由器出现故障时候, 就必须重新拆除和建立 PVC, 这种操作的时机和操作过程都将对网络性能产生重大影响。迭加模式目前仍主要使用 CIPOA, 而 MPOA 并未被更多地推广使用。

IP Over ATM 的进一步发展思路是基于 ATM 交换硬件怎样集成第 2 层与第 3 层的各自优势的所谓集成模型, 主要有 IP 交换、标记交换。将 IP 层的路由功能与第 2 层交换功能结合起来, 使 IP 网络获得 ATM 的选路功能。ATM 端点只需使用 IP 地址进行标识, 而不再需要地址解析协议,

* 收稿日期: 2002-03-21

作者简介: 范冰冰 (1962-), 男, 教授, E-mail: bingbingfan@163.net

在 ATM 网络内使用现有的网络层路由协议为 IP 报文选择路由, 并根据 IP 包的类型, 选择直接交换或存储转发的方式实现高速 IP 分组传输。IP 交换机基于 ATM 交换机硬件, 但使用专有控制信令而不是 ATM 的复杂信令, 实现快速建立连接, 以满足对无连接 IP 业务快速切换的要求。由集成模型构建的路由交换机实际形成 ATM 交换和路由两个相对独立模块, 但不同厂商各种方案并没有形成统一标准, 所以实际并没有成为统一的换代产品, 但为以后 MPLS 发展奠定了基础。

ATM 是一种出色的多业务平台技术, 具有完善的 QoS、带宽可管理、延时小和可运营性, 并在网络工程设计方面有高度灵活性, 已形成完整的骨干和边缘层设备系列, 十分适用于多业务环境和高性能要求的 IP 业务, 适用于网络边缘层的多业务汇聚和一般 IP 骨干网。但复杂性高, 由于 ATM 桌面不流行, 一般用户 LAN 和 IP 设备不支持 ATM 接口, 桌面操作系统也不支持 ATM 协议, 限制了 ATM 综合业务统一平台发展; 对于一般行业 (或企业) VPN 组网, 也由于 ATM 用户适配设备的成本及与 LAN 交换机或路由器接口困难而受到限制。对大 IP 业务量时性能不理想, 对持续发展的 IP 业务和可扩展的大型骨干 IP 网络, ATM 为基础的多业务平台将不是长远的解决方式^[1-3]。

2 以太网承载 IP

以太网已是事实上的计算机局域网标准, 积累了广泛的用户基础, 应用软件和流行的操作系统都能很好地和以太网兼容, 且建网简单、性价比高和具有良好的可扩展性。由于以太网和 IP 广域网几乎是同步发展的计算机网络技术, 且以太网的异步传输方式比较适应突发的 IP 数据流, 所以以太网和 IP 是业界公认相互融合最出色的形式。近年来, 千兆和 10 千兆以太网交换、光纤接口、3 层交换和大容量 MAC 地址处理等技术进展, 使以太网技术从局域网开始走向城域网和广域网。以太网的第 2 层交换和第 3 层选路能力成为承载 IP 传输的又一种主要可选网络技术。

从结构上看, 可以使用千兆或 10 千兆以太网作为核心层, 百兆作为接入层, 提供十兆的桌面, 通过光纤或双绞线方便地连接, 为今后的宽带 IP 应用奠定良好的带宽基础。作为以太网最

主要特色, 从广域网、城域网、局域网到桌面使用统一的帧格式, 网中以统一的帧格式方便地建立端到端的连接, 这种统一性是任何其它网络所无法具备的, 其它网络和以太网 (或桌面) 连接一般都不不可避免要使用接口适配设备, 完成网络边界上的格式转换, 所以以太网是 IP 用户接口最简单和最经济的形式, 且整个网络异常简洁和易管理。由于定位于企业级的以太网产品的普及, 以太网设备的价格远远低于电信网络设备, 等同带宽的以太网设备约是 SONET/SDH 设备的 1/10。以太网带宽的易扩展性, 形成宽裕的带宽环境, 来满足用户 QoS 要求。以太网交换机已不再是只提供高速度, 而开始具备了智能路由选择、CoS 保证和高端口密度, 千兆和 10 千兆以太网交换机性能进步已对 ATM 的 IP 网络提出挑战。

但也正是由于企业级网络的传统定位, 作为以 CSMA/CD 为基础企业信息共享平台, 以太网要成为运营商的公共网络还存在较多的缺陷。首先无法保证网络运营质量, 企业网络作为内部网通常没有服务质量承诺, 网络用户基本处于平等竞争的状态, 以太网交换机中只能实现 CoS, 无法实现端到端的 QoS 保证。其次作为公共网络的运行维护性较差, 以太网没有网络级的管理能力, 缺乏全网故障定位和监测告警手段, 且一般以太网设备可靠性相关设计考虑较弱, 实现电信级高可靠性还有待时日。第三网络缺乏必要的可运营性, 作为企业内部网没有收费要求, 以太网设备基本没有供运营管理的统计信息, 或只能通过第三方高层协议软件提供, 这对广域网运行是不能接受的。第四安全性还有待改善, 以太网是一种广播机制网络, 通过 MAC 地址或 IP 的方式设置 VLAN 限定广播域, MAN 和 WAN 中实际无法使用 MAC 建立大型 VLAN, 只有通过高层 IP-VPN 建立安全机制, 以太网作为公网承载大量用户接入和建立政府企业 VPN, 其安全性无法保证。

目前以太网技术以经济、宽带和简单满足日益发展的低成本、高带宽的市场需求, 特别适合中国办公、居住密度大的国情, 已是校园网、行业骨干网建设首选形式, 也适用于中小型新兴运营商和城域网。以太网也在可靠性、安全性和 QoS 和用户接入、带宽和运营的可管理性方面不断完善, 并且以太网和 MPLS、DWDM 和高速路

由器结合所构建的纯 IP 网, 将来完全可能发展成为一种开放的标准网络平台, 但随之其系统复杂性明显增加和低成本优势也将逐步消失。

3 SONET/SDH 和 DWDM 承载 IP

近年, 利用 SDH 的带宽、成熟性和可管理性满足 IP 业务快速发展的需求是一个发展方向。POS 技术不断发展完善, 近两年 POS 技术成为 Internet 网第二次提速的主要技术, 使路由器互连速度达 2.5G 和 10G。由于 SDH 是物理层协议, IP 为网络层, IP 显然还需要数据链路层作为 IP 与 SDH 接口。IETF 已标准化了 PPP 来实现这一功能, SDH 承载 IP 的具体结构是 IP PPP/HDLC/SDH。PPP 协议定义了多协议数据包的封装格式和用来建立、配置并测试数据链路连接的 LCP。PPP 协议它提供的是一种点到点的快速链路, 适用骨干 IP 网互连。

IP Over SDH 缺乏带宽管理的灵活性和 QoS 能力, 点对点连接造成路由器高端接口大量增加, 在广域大范围中 IP 的 SDH 组网昂贵和不现实, 所以 IP Over SDH 最适合于有限的点对点 IP 骨干连接。SDH 毕竟是为干线大容量的数字话音传输目的而设计的 TDM 系统, 是一个收发业务对称和同步定时高要求的网络, 而 IP 是收发不对称和网络同步要求相对较低业务。在 IP 业务成为网络的主要业务后, 长远的观点看 SDH 为基础的多业务平台应该不是一种最有效的方式。

IP Over DWDM 无疑是理想的方式和未来的发展方向, 是目前 Internet 骨干连接提速的最新方式, 省缺 SDH 或 ATM 交换中间层后, IP 包直接在光路上传输, 分组转发时间降至几十微秒, 额外开销降低传输带宽大, 大大减少了设备投资和简化了分层管理的复杂性, 单位带宽的费用也随之大大下降。IP Over DWDM 中, 高速路由器通过分叉复用器 OADM 和光耦合器连接到 WDM 光纤上, 光纤内各波长是链路层互连的, 并可以在光层通过 OADM 形成自愈保护。高性能路由器取代 ATM 和 SONET/SDH 电交换与复用设备, 成为关键的统计复用设备, 用作为主要的交换/选路设备, 由它控制波长接入、交换、选路和保护。IP Over DWDM 系统中网络边缘路由器将成为选路和交换的主要智能设备, 而不是传统交换中更多依赖网络核心交换设备, 所以将来引入光交换交换技术可相对简单, 并可缩短光电转换的

建立时间和简化网络管理。

IP Over DWDM 对点对点承载大量 IP 业务比较理想。它不仅组网简单、速率高和带宽利用率高, 更重要的是经济性。但目前 IP Over DWDM 存在很多问题。首先解决使用什么标准复用结构把低速突发的 IP 包复用成适合光传输的高速信号, 即解决 IP 层和 WDM 层适配问题。现有的 DWDM 是点对点的结构, 要形成全光网状网络, 光的接入、交换、保护还远不完善; 其它如波长标准化、网络可管理性、QoS 等一系列问题都还需要相当时间解决。

4 MPLS 技术

IP 是无连接的数据包传送技术, 主要体现在数据包转发中的路由多向性和路径的动态灵活性, 但 IP 使用路由表查询的寻址机制速度慢, 特别不适合未来社会的宽带需求。所以, 近年 SDH、ATM、以太网和 DWDM 在承载 IP 业务上做了许多尝试并取得了重大进展, 各有特色但同时也有各自的不足。为了解决核心交换网的宽带 IP 传输, 多协议标记交换 MPLS 技术应运而生。MPLS 实际上是计算机网络技术和传统电信网发展的相互结合与借鉴的产物, 将第三层的智能、灵活和可扩展性与第二层交换的硬件化处理、流量控制和质量保证等优点结合。MPLS 工作组到目前为止已经把在帧中继、ATM 和 PPP 链路以及 IEEE 802.3 局域网上使用的标记实现了标准化。目前 MPLS 实现的途径是两条: 带有 MPLS 功能的路由器和以太网交换机, 即 IP MPLS; 或是带有 MPLS 功能的 FR 和 ATM 交换机, 即 ATM MPLS。ATM MPLS 能充分发挥 ATM 在 QoS 和流量管理上的本来优势, 而 IP MPLS 使原来缺乏 QoS、流量管理和二层 VPN 的纯 IP 网性能大大改善。

标记是远比传统 IP 报头简洁的适合硬件处理的定长特殊报头, 在 IP MPLS 中, 标记是单独的 32 位报头; 在 ATM MPLS 中, 标记主要包含虚通路标识符/虚通道标识符 (VCI/VPI) 的信元报头。MPLS 实际是一种基于标记的 IP 路由选择方法, 这些标记用来代表显式路由, 包含服务质量 (QoS)、虚拟专网以及特定类型的流量等网络传输方式的各类信息, MPLS 在路由器/交换机上定义了用新的路由协议封装 IP 流量的体系结构和协议。MPLS 网络使用标记转发数据包, 标记

的格式取决于网络特性。MPLS 在网络入口边缘通过边缘标记交换路由器 LER, 为每个 IP 包加上一个固定长度的标记。标记分布协议在边缘和核心设备之间建立通信, 与路由选择协议 (如 OSPF、IS-IS、EIGRP) 或 BGP 协议等相结合, 在边缘和核心设备之间分配标记, 自动建立标记交换通道 LSP, 由两个端点之间分配的所有标记定义的通道, 可以是动态的也可以是静态的。核心 MPLS 路由器/交换机只解读标记, 并用表中所列的新标记进行替换和转发, 而不再解读 IP 数据包报头, 在出口边缘再恢复成原来的 IP 包。因使用固定长度的标记确定目的地址 (完全类似 ATM 交换), 建立确定的转发路径 LSP, 这种把三层流量映射到面向连接的二层传输技术, 使 MPLS 能实现高速转发。

MPLS 网络可根据 IP 包性质区分应用类型或业务级别, 确定它需要的 QoS 和流量 (带宽), 路由选择系统计算出传送该负载的最佳路由, 实现根据业务的流量和 QoS 要求选择一条优化的边缘到边缘的路径和相应的带宽管理。在网络范围内实现负载均衡的流量工程, 有效的解决网络中的负载均衡和拥塞问题。由于标记和 IP 地址不同只在本地通信的两个 LSR 之间具有意义, 且可重复使用多次, 也使 MPLS 具有高度的可扩展性。MPLS 提供是基于 IP 的第 2 层 VPN, 体现了 VPN 的技术突破。一个 MPLS VPN 是一组策略的

集合, 这些策略控制着一组客户站点间的连接, 采用集中管理和配置方式。所以 MPLS VPN 模式随着客户的不断增加可以达到很高的可伸缩性, 在一个公众网络实现数万个 VPN。

MPLS 是宽带 IP 网络技术重大进展, 并作为 IETF 的新标准, 倍受业结推崇, 发展方兴未艾, 是未来宽带 IP 承载网络的主要发展方向。但 MPLS 技术目前也存在一些大问题。首先, 目前 MPLS 基本是作为 ATM 或纯 IP 网的修补技术出现的, 而不是基于标记体系的全新设计和实现。用户是选择 ATM MPLS 还是 IP MPLS 网络。其次, 在 QoS 标签分配信令、解决 VC 合并、传输分类业务等方面还需要进一步完善。第三, MPLS 毕竟是全新的技术, 尽管国内外主要运营商已开始小规模试用, 并取得了较满意的效果, 但仍面临实际大规模运行的技术成熟性和稳定性等考验。

参考文献:

- [1] DAVIE B, DOOLAN P, REKHTER Y. Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching, and Related Technologies [M]. Morgan Kaufmann, 1998.
- [2] DAVIE B, DOOLAN P, REKHTER Y. Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching, and Related Technologies [M]. Morgan Kaufmann, 1998.
- [3] Metz, Christopher. IP Switching: Protocols and Architectures [M]. New York: McGraw Hill, 1999.

The Progress of Broadband IP Network Technologies

FAN Bing bing

(Guangzhou Communication College, Guangzhou 510500, China)

Abstract: IP is main service in telecommunication network. Next architecture of broadband IP network is focus. The paper begins with a brief review of the progress of telecommunication services. It emphatically describes how ATM, Ethernet, SDH, DWDM and MPLS transmit IP, points out their the major problems and developing trends.

Key words: broadband IP network; backbone network