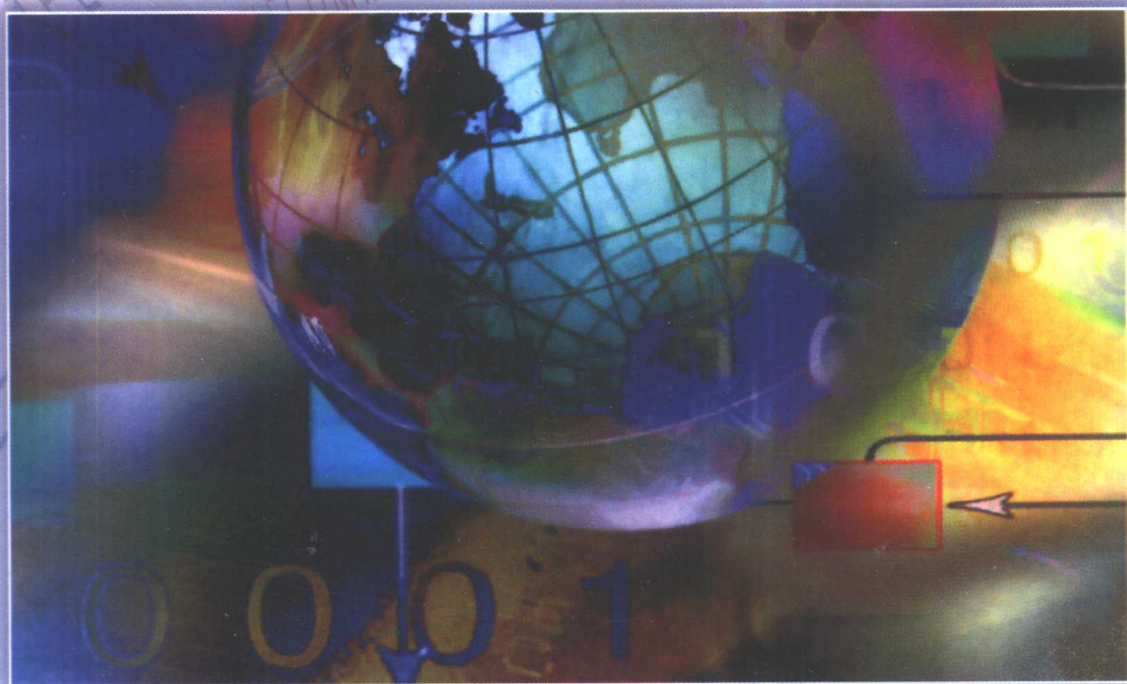


电信新技术实用丛书

下一代的IP骨干网络技术

——多协议标记交换

吴 江 赵慧玲 等编著



人民邮电出版社

电信新技术实用丛书

下一代的 IP 骨干网络技术 ——多协议标记交换

吴 江 赵慧玲 等编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

下一代的 IP 骨干网络技术——多协议标记交换/吴江等编著.—北京: 人民邮电出版社, 2001.1

(电信新技术实用丛书)

ISBN 7-115-08937-X

I.下... II.吴... III.计算机网络—通信协议 IV.TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 85896 号

内 容 提 要

多协议标记交换 (MPLS), 是一种理想的 IP 骨干网络技术。

本书首先介绍 MPLS 的背景知识、MPLS 标准发展的历史与标准化的现状, 然后阐述了 MPLS 的基本原理与体系结构, 其中对 MPLS 的控制协议 (LDP) 以及路由机制、路由层次化、标记合并、组播等基本功能加以介绍, 接下来详细介绍 MPLS 的核心协议——LDP 协议, 介绍了 MPLS 体系结构中存在的各种技术选择, 并对这些技术选择进行了分析比较, 随后, 对 MPLS 的流量工程功能以及实现 MPLS 流量工程的两种主要协议——RSVP 扩展和 CR-LDP 协议进行了阐述, 还介绍了 IP QOS 的两种体系结构——Int-serv 和 Diff-serv, 并对二者进行了比较, 其中着重介绍了目前 MPLS 在实现 Diff-serv 业务模型时的几种解决方案, 第九章对 MPLS 与 ATM 和 FR 链路层媒体的结合问题加以探讨, 最后一章介绍 IP VPN 业务以及 MPLS 对于 IP VPN 的支持。在附录中介绍了 LDP 的操作细节, 以及 Cisco 公司的 ATM MPLS 网络解决方案和应用实例。

本书内容详尽, 并力求深入浅出, 既适合于具备一定通信技术知识的管理干部和营销人员, 也适合于深入学习 MPLS 技术的电信网络专业技术人员和院校师生。

下一代的 IP 骨干网络技术 ——多协议标记交换

◆ 编 著 吴 江 赵慧玲 等

责任编辑 陈万寿

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@puph.com.cn

网址 <http://www.puph.com.cn>

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21

字数: 523 千字

2001 年 1 月第 1 版

印数: 1—5 000 册

2001 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08937-X/TN·1668

定价: 34.00 元

丛 书 前 言

信息技术是当今世界科技领域中最有活力、发展最快的高新技术，它时时刻刻都在影响着世界经济的发展和科学技术进步的速度，并不断改变着人类的生活方式和生活质量。近年来，作为信息技术的主要支柱之一的现代电信技术，其发展、应用和普及尤其令人瞩目，受到世界各国的广泛重视。

随着我国改革开放的不断深入，我国通信网的规模容量、技术层次和服务水平都有了质的飞跃。电信网的装备目前也已达到国际先进水平，大量的新业务不断地投入使用。在这种情况下，对从事电信工作的技术人员和管理人员的相应要求也在不断变化和提高。为了帮助广大电信工作者能够及时了解电信技术的发展，掌握新技术的应用方法，我社组织编写了这套《电信新技术实用丛书》，供大家学习使用。

这套丛书紧密结合电信部门的实际，重点介绍近些年来迅速出现并发展起来的新技术、新设备及新业务。丛书的特点是结合发展，全面介绍新技术、新概念，突出实用性。书中内容深浅适宜，条理清楚。丛书的主要读者对象是电信部门的技术人员、管理人员和业务人员，也可作为相关院校电信专业的教学参考书。

殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵意见和建议，以便这套丛书日臻完善。

人民邮电出版社

前 言

多协议标记交换, 即 MPLS (MultiProtocol Label Switching), 是 IP 通信领域中的一项技术, 是对传统 IP 网络传输技术 (如 IP over ATM, IP over SDH 等) 的改进。它采用了集成模型, 将第三层 IP 技术与第二层的硬件交换技术结合在一起, 并且使用一个定长的标记作为分组在 MPLS 网络中传输时所需处理的唯一标志。这种技术兼具了 IP 的灵活性、可扩展性与 ATM 等硬件交换技术的高速性能、QoS 性能、流量控制性能。使用这一技术, 将不仅能够解决当前网络中存在的大量问题 (如 N 平方、带宽瓶颈、QoS 保证、组播以及 VPN 支持等问题), 而且能够实现许多崭新的功能 (如流量工程、显式路由等), 是一种理想的 IP 骨干网络技术。

当前, 国际上关于 MPLS 的研究十分活跃, IETF (Internet Engineering Task Force) 预计今年将出台 MPLS 的标准, 而 ITU-T 的各个工作组也在积极进行相关的研究以及国际标准的制定工作, 该技术将很有可能成为下一代 IP 网络的基础技术。与此同时, Internet 的发展也对宽带化、多媒体化提出了越来越高的要求, IP 网络的建设迫切需要一种更为高效的技术。IP 网络将成为未来居于统治地位的网络, 可以预见的一点是, IP 网络发展的转折点将是 IP 网络对于服务质量问题的解决以及对各种新兴的增值业务的支持, 而 MPLS 一方面是目前唯一能够保证 IP 网络服务质量的网络技术, 另一方面, 使用 MPLS 将可以十分高效地实现各种增值业务, 如 VPN 等。正因为这样, MPLS 目前已经成为业界普遍看好的下一代的 IP 骨干网络技术, 各种科研机构与厂商都在加紧对这一技术的研究以及对相关产品的开发。目前, 在 IP 领域, 无论是在产品制造还是在网络运营上, 都存在着激烈的竞争。如果想要在这一竞争中占据有利的地位, 研发人员以及网络规划人员便都很有必要了解这一新兴技术, 对这种技术的发展进行密切的跟踪研究, 以便根据我国实际情况, 在当前种种 IP 技术中作出正确的选择, 以便在适当的时候采用这种技术来开发自己的产品, 组建自己的网络。

目前, MPLS 技术正处于不断的发展完善过程之中, 尚无统一的国际标准。研究的重点主要是 MPLS 的体系结构 (其中包括标记分配规程、标记的语义); 用 MPLS 支持 IP QoS; 用 MPLS 支持组播与 VPN; 用 MPLS 支持 Diff-serv 以及 MPLS 与各种特定的链路层技术的结合问题等。预计年内各标准草案将形成 RFC 标准, 另外, 国内 IP 研究组也正在积极开展 MPLS 技术要求的制定工作。本书正是作者在对 MPLS 的发展进行了长期的跟踪研究, 与生产厂家的交流以及我国的多协议标记交换技术总体技术要求的制定工作中完成的。本书的内容覆盖了 MPLS 技术的各个主要方面, 内容详尽, 并力求深入浅出, 既适合于具备一般通信技术知识的营销人员, 也适合于需要了解 MPLS 技术的专业技术人员。通过阅读本书, 读者将可以了解使用 MPLS 的原因、MPLS 的基本原理、MPLS 实现的一些高级功能以及一些公司的 MPLS 解决方案, 从而对 MPLS 技术的实质以及基本情况获得一个全面的掌握。

本书首先叙述了 MPLS 产生的原因 (第一章), 其中归纳了 MPLS 的优势以及存在的问题; 随后, 在第二章中, 介绍 MPLS 标准发展的历史与标准化的现状; 第三章阐述 MPLS 的基本原理与体系结构, 其中介绍了 MPLS 的控制协议。(LDP) 以及路由机制、路由层次

化、标记合并、组播等基本功能；第四章详细介绍 MPLS 的核心协议——LDP 协议；第五章介绍 MPLS 体系结构中存在的各种技术选择，并对这些技术选择进行分析比较；随后，在第六章中，对 MPLS 的流量工程功能进行了介绍，在第七章中，对实现 MPLS 流量工程的两种主要协议，RSVP 扩展和 CR-LDP 协议进行了介绍，并对二者的优劣进行了比较。在第八章中，介绍了 IP QoS 的两种体系结构，Int-serv 和 Diff-serv，对二者进行了比较，并着重介绍了目前 MPLS 在实现 Diff-serv 业务模型时的几种解决方案。在第九章中，分别介绍 MPLS 与 ATM 和 FR 链路层媒体的结合问题。在最后一章即第十章中，介绍 IP VPN 业务以及 MPLS 对于 IP VPN 的支持。在附录 A 中对 LDP 的操作细节进行了介绍。在附录 B 中，介绍了 Cisco 公司的 ATM MPLS 网络解决方案和应用实例。在附录 C、D、E 中，对全书出现的重要术语、缩略语和引用的参考文献进行了归纳总结，并给出了一些与 MPLS 有关的网络资源，供有兴趣的读者对 MPLS 做进一步的研究时的参考。

在本书的编写过程中，得到了各位同事的大力支持，其中主要有高兰、石友康、叶华、聂秀英、梁勇、段世惠、吴英桦、叶冠华、张国宏、李允博等。在出版过程中，人民邮电出版社的编辑同志也投入了大量的精力，给予了极大的帮助。在此一并表示感谢。

本书力求做到内容新颖、准确与通俗易懂，然而由于作者水平有限，加之内容较多，时间有限，书中难免有许多不妥乃至错误之处，敬请读者原谅并欢迎批评指正。

作者

目 录

第一章 为什么要使用 MPLS	1
第一节 IP 技术与 ATM 技术的结合	1
第二节 重叠模型及其存在的问题	4
第三节 集成模型方式与标记交换技术	8
第四节 多协议标记交换 (MPLS) 的优势与现存的问题	11
第五节 小结	15
第二章 标记交换技术的发展与 MPLS 的标准化	16
第一节 标记交换技术的产生和发展	16
第二节 MPLS 标准化工作	17
第三节 小结	20
第三章 MPLS 体系结构	21
第一节 MPLS 中涉及的基本概念	21
第二节 MPLS 网络的结构	23
第三节 MPLS 基本工作过程	24
第四节 MPLS 体系结构	24
第五节 小结	41
第四章 标记分发协议(LDP)	42
第一节 概述	42
第二节 LDP 操作	44
第三节 协议规范	55
第四节 小结	89
第五章 LDP 所面临的几种技术选择	90
第一节 概述	90
第二节 标记交换发起方式	91
第三节 映射发布方式	94
第四节 映射建立方式	95
第五节 映射时序	95
第六节 标记信息保持方式	96
第七节 LSP 保持方式 (软状态还是硬状态)	96

第八节 传输可靠性（使用 UDP 连接还是 TCP 传输）	97
第九节 适合于 ATM-LSR 的解决方案	97
第十节 小结	98
第六章 MPLS 流量工程	99
第一节 QoS 问题概述	99
第二节 MPLS 流量工程	101
第七章 实现 MPLS 流量工程的两种控制协议	112
第一节 RSVP 方式	112
第二节 使用扩展 RSVP 技术来实现 MPLS 流量工程	115
第三节 CR-LDP 方式	127
第四节 对 CR-LDP 与扩展 RSVP 的分析比较	138
第五节 小结	144
第八章 MPLS 的 QoS 机制	145
第一节 综合业务模型	145
第二节 Diff-serv	147
第三节 MPLS 与 Diff-serv 的结合	156
第四节 小结	182
第九章 MPLS 与链路层协议的结合	183
第一节 IPOA 与 MPLS	183
第二节 使用 ATM 交换机来实现 MPLS	192
第三节 在帧中继上实现 MPLS	209
第四节 小结	221
第十章 VPN 与 MPLS VPN	222
第一节 VPN 以及 IP VPN 的概念	222
第二节 IP VPN 隧道协议及其分类	223
第三节 IP VPN 网络互联模型	226
第四节 VPN 功能要求	226
第五节 IP VPN 对于使用的隧道协议的要求	227
第六节 VPDN	228
第七节 虚拟租用线(VLL)VPN	236
第八节 VPRN	236
第九节 虚拟路由 MPLS VPN	244
第十节 BGP MPLS VPN	246
第十一节 MPLS VPN 对于组网的要求	249

第十二节	MPLS VPN 的安全性	249
第十三节	MPLS VPN 的应用策略	249
第十四节	小结	249
附录 A	LDP 处理过程	251
第一节	处理标记分发事件	252
第二节	通用标记分发处理过程	268
附录 B	Cisco 公司 ATM MPLS 解决方案	276
第一节	概述	276
第二节	关于标记交换中的术语和标记交换	276
第三节	设计 MPLS 网络的步骤	279
第四节	选择 MPLS 设备	279
第五节	设计 MPLS 网络	288
第六节	将 MPLS 引入传统 ATM 网络中	308
附录 C	术语	320
附录 D	缩略语	322
附录 E	参考文献	324

第一章 为什么要使用 MPLS

Internet（因特网，国际互联网络）正在逐步扩展到各个国家、各个地区；深入到各种各样的企业，深入到千家万户。Internet 用户数量的指数增长，网络规模的飞速膨胀，已经是无可争辩的事实，Internet 与网络正在对我们的生活发生着广泛而深远的影响。

然而，对网络设计者与运营商来说，Internet 的飞速发展可能并不那么激动人心。目前，尤其是对于我国这样的发展中国家，网络关键设备与软件大量地依赖进口，高昂的设备价格使得网络运营成本难以降低。另一方面，网络技术的复杂性以及网络技术本身的各种不完善性，使得网络的运营与维护十分复杂，运营与维护成本也难以降低。网络技术的复杂性和网络成本的居高不下也使得各种新业务的开展十分困难。网络的不断扩大、业务量的不断增长、业务的日趋复杂，一次次地使现有网络不堪重负。而用户对于这一网络的服务质量的评价远远达不到传统电信网络所达到的水平。这样便造成了一种两难的局面，一方面，网络运营商抱怨网络成本太高、新业务难以推广、收益不足；而另一方面，用户又抱怨网络使用费用过高、网络速度太慢、服务质量难以保证。

面对上述情况，Internet 的进一步发展迫切需要一种高速度、低价格、操作简单、应用灵活、运行稳定可靠，而且能够对不同的业务实现不同的服务质量区分的 Internet，这实际上就是所谓的电信级的 IP（网际协议，Internet 的技术基础）网络所要达到的目标。而要达到这一目标，便是本书的主角——多协议标记交换技术以及目前其他的各种 Internet 新技术产生的根本动因。

第一节 IP 技术与 ATM 技术的结合

从技术角度来看，由于 IP 技术设备简单、应用灵活以及协议具有良好的可扩展性（所谓可扩展性，是指当网络规模日益扩大时，协议的运行效率所受影响的大小），加之以美国政府对 Internet 的大力扶持，IP 技术作为第三层网络协议的统治地位已经是无法动摇的既成事实了。从某种意义上讲“everything on IP, IP over everything”，亦即 IP 将运行于所有的下层技术之上，而所有的上层应用都可以运行在 IP 之上，将是通信网络发展的必然趋势。当前，各种广域网上最大的业务量实际上都来自于 IP；而各种下层技术支持的也大都是 IP 业务。在各种技术的标准化工作中如何对 IP 协议更好的支持已经成为研究的重点。一个明显的例子就是，ITU-T 第 13 工作组过去主要的研究方向是电信网络技术，而最近它也已经将工作重点转移到了使用各种技术对 IP 技术的支持上来。

一、IP 网络发展中存在的问题

在使用 IP 协议的传统路由器网络中，随着用户数量的增加与各种宽带业务（语音业务、图像业务等）的发展，传统的 IP 网络上的数据流量也在不断增加，这时，传统的路由器

(Router, Internet 中的基本网络设备)网络将逐渐趋于饱和,如果数据量继续增加的话,网络的经济性和效率就会迅速下降,造成这种情况的原因主要有以下几个方面:

- 现有 Internet 骨干网带宽不足,路由器的处理能力(寻址速度、吞吐量)不够,用户接入速率太低。这些问题虽然可以通过对于网络硬件设备的升级来解决,然而,由于网络运行成本的限制,这种网络升级往往难以实现。

- 当前 Internet 所使用的 IPv4 (IP 协议第 4 版)协议对实时业务、灵活的路由机制、流量控制和安全性能的支持不够,地址资源也短缺。IPv6 (IP 协议第 6 版)虽然在一定程度上解决了这些问题,但是由于 IPv4 协议的广泛应用,该协议的普及尚需时日。

- 当用户数量剧增时,路由器网络的传输性能将下降,在网络的某些区域甚至会发生拥塞,此时,传统的路由器网络虽然可以借助于 IP 分组中的 TOS (Type of Service, 业务类别) 字段保证优先级较高的数据具有较高的转发优先级。然而,由于现有的 IP 协议对于服务质量支持的局限性,传统的路由器网络无法实现可靠的服务质量(带宽、优先级等)保证。

- 网络规模的增大要求路由器具有更多的端口(port),然而由于路由器端口数与端口容量的限制,在许多大型的 Internet 节点上,将需要使用多个通过以太网相互连接的路由器。这种方式的缺点是,一方面,它提高了成本,降低了节点的性能(如传输时延);另一方面,节点上每一个路由器的每一个端口都要使用不同的 IP 地址,这就加大了 IP 地址资源的消耗。

IP 技术的发展面临的主要问题就是传输效率低,无法保证服务质量。为了解决这些问题,各大厂商与标准组织进行了大量的研究工作,目前,业界普遍认为通过在传统的路由器 IP 网络中加入交换结构,如 ATM (异步传输模式)技术、SDH (同步数字体系)技术等,是一个比较好的解决方案。目前十分热门的吉比特路由器技术实际上也是将硬件交换技术引入了路由器,可见上述思想已经深入人心,并且正在迅速地发展完善。

二、IPOA 技术

当前,IP 网的建设中存在着几种技术,如 IPOA (ATM 技术上的 IP 传输)、IPOS (IP over SDH/SONET 同步数字体系技术上的 IP 传输)、IP over WDM (波分复用技术上的 IP 传输),以及 IP over Fiber (光纤上的 IP 传输)技术。它们之间的关系如图 1-1 所示,这些技术各有其优缺点,此处不再赘述,有兴趣的读者可以参见参考文献【38】。这里,我们将重点介绍 IPOA 技术,它是一个在 IP 网络中使用交换结构的实例。通过对于 IPOA 的介绍,我们可以看到现有的使用交换结构来支持 IP 的技术所存在的问题,进而通过对比,我们可以看到 MPLS 是如何解决这些问题的。

1. IPOA 是 IP 和 ATM 两种技术发展的必然

一段时期以来,人们把 IP 网络的希望寄托在 ATM 上。由于 ATM 技术本身所具备的诸多优势,利用 ATM 互联网络技术构造 Internet 的骨干传送网将可以在一定程度上解决上述问题。在 IP 网中使用 ATM 技术将具有以下优势:

- ① 由于 ATM 交换设备所具有的强大的转发能力,使用 ATM 交换结构的 IP 网络将可以由于路由器跳数(Hop)的减少而获得较低的成本,网络的复杂性也随之降低。

- ② 大大提高了网络性能,ATM 交换机具有极高的端口速率,这将为 IP 骨干网络的数据传输提供可靠的保证。ATM 信元交换特性(ATM 交换机只对 5 字节信元头标进行处理,

而 IP 分组头标为 40 字节) 以及硬件交换能力都使得 ATM 交换机具有极高的交换速率, 从而降低了整个网络的传输时延。

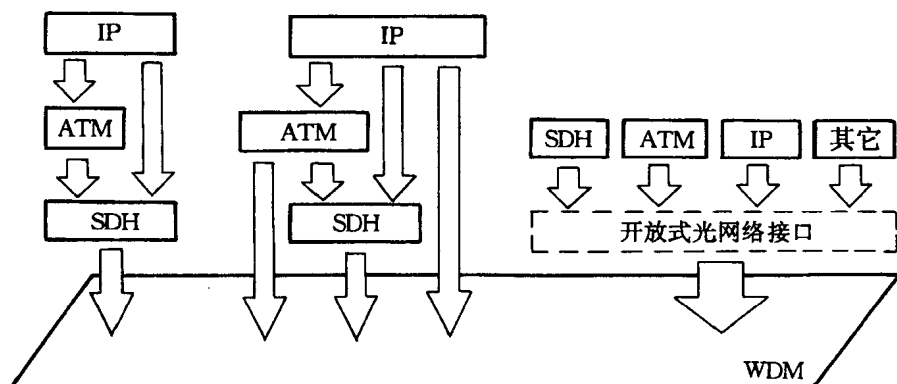


图 1-1 当前 IP 网络中的几种技术

③ 从路由器的角度看, 整个 ATM 交换网络只是一个单跳网络, 只有终端路由器才进行第三层的协议处理。这样, 将可以实现 Internet 在 ATM 网上的直接路由, 从而大大提高了 Internet 的路由效率。

④ 降低了设备成本: 相对于路由器, ATM 交换机可以支持更多的端口, 同时使每个端口的费用更低。例如, 一个具有 10Gbit/s 吞吐量的 ATM 交换机处理能力相当于每秒可处理 2000 万个 IP 数据包的路由器, 而其价格与每秒只处理 200 万个 IP 数据包的路由器相当。

⑤ ATM 交换机已经具备了提供服务质量区分的能力。ATM 本身已具有了综合业务能力, 通过在 ATM 边缘交换设备上使用资源预留协议 (RSVP) 技术, IPOA 网络将可以根据业务的需要为不同的数据流分配不同的转发优先级、带宽等服务质量参数。

⑥ 同时, 利用 ATM 面向连接的特性, 网络运营者可以为不同性质的业务定义多个虚连接, 使得那些对时延敏感的数据传输不会受诸如文件传送、图像下载的影响。

⑦ 可靠性大大增强: ATM 交换机的设计一向重视容错问题, 与路由器相比具有更高的可靠性, 而且成本低, 这一点对网络核心特别重要。

⑧ 大大增加了可管理性: 随着路由器网络规模的不断扩大, 网络变得愈加难以管理。许多大型的纯路由器网络占用大量的 IP 地址。而由于 ATM 交换机是在第一、二层进行数据处理, IP 地址不会被消耗在中间节点上, 因而交换核心的使用可以使网络的逻辑结构从物理结构中分离出来, 从而在网络的拓扑和配置上带来很大的灵活性。ATM 交换机还为网络诊断提供了先进的工具和更好的流量管理能力。

ATM 技术由于是从电信技术发展而来, 具有高速度、QoS 性能、流量工程等传统路由器网络所不具备的性能, 已经在世界范围内的骨干 IP 网上得到了广泛的使用, 它对 IP 的支持也已经十分成熟。当对网络提出较高的实时性要求时, IPOA 目前仍然是首选。

然而, ATM 也存在着许多问题, 比如, ATM 的技术复杂, 对于技术人员的要求比较高; 由于目前 ATM 的应用规模有限, 所以其设备成本难以降低; 另外, ATM 无法直接支持桌面应用, 这比 IP 所具有的应用灵活性差了许多。由于 IP 技术不可动摇的市场地位和 ATM 所遇到的上述困难, ATM 的出路在于简化自身, 向着支持 IP 的方向发展。

这样看来, IP 的发展方向是使用硬件交换来提高服务质量, 而 ATM 的发展方向是

提高其应用的灵活性、简化设备。所以，可以说，IPOA 是 IP 和 ATM 两种技术发展的必然。

2. IPOA 技术的发展

在 IPOA 技术的发展过程中，陆续出现了 CIPOA（经典 IPOA，即 ATM 上的传统 IP）、LANE（局域网仿真）、MPOA（ATM 上的多协议传输）、IP 交换、CSR（信元交换路由器技术）、ARIS（集成 IP 交换技术）、Tag Switching（标签交换技术）、MPLS 等技术。这些 IPOA 技术可以分为两类，即重叠模型和集成模型（Overlay Model and Integrated Model），如图 1-2 所示。这两种模型的不同之处在于在 ATM 网络上发送 IP 分组的方式不同。

在重叠模型中，在每一个逻辑信息子网（LIS）内将使用基于 ATM 地址的 ATM 路由协议和信令协议对 IP 分组进行路由选择与转发；而在集成模型中，则将使用非 ATM 路由和信令协议对 IP 分组进行路由选择与转发。由于使用不同的模型对 ATM 网络的能力有不同的要求，所以，在构建一个 IPOA 网络之前，必须要首先确定所使用的协议模型。

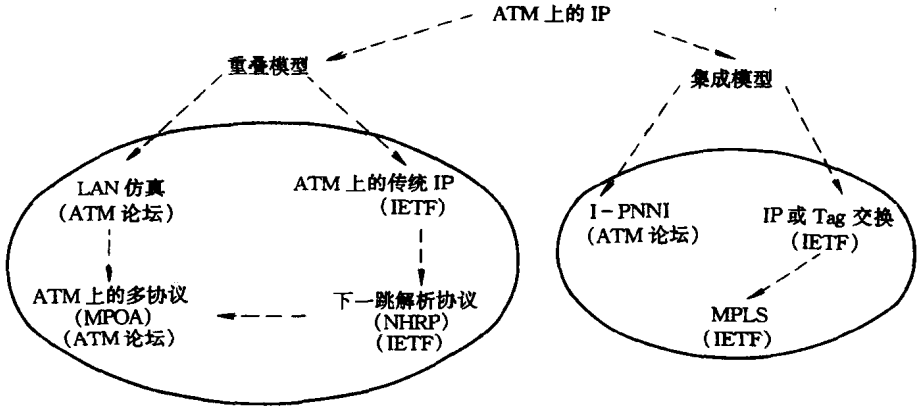


图 1-2 在 ATM 上支持 IP 协议的两模型

第二节 重叠模型及其存在的问题

一、重叠模型

目前在 IPOA 网络中使用的大多是重叠模型，CIPOA、MPOA、LANE 等 IPOA 技术都属于重叠型技术，这些技术都将 IP（第三层技术）建立在 ATM（第二层技术）之上，两层协议完全独立，它们之间通过一系列协议（如 NHRP，ARP 等）实现互通。这一思路是很自然的，因为它无需对 IP 和 ATM 双方的技术和设备进行任何改动，只需要在网络的边缘进行协议和地址的转换即可，所以目前这种模型已经得到了广泛采用。

重叠模型的协议堆栈如图 1-3 所示，这种模型要求对于 ATM 和 IP 分别定义不同的地址结构和相关的路由协议。也就是说，ATM 端点使用 ATM 地址和 IP 地址两者来标识。在 ATM 网内，所有交换机都将使用 ATM 路由协议来为 IP 分组包选择路由，需要用 ATM 地址选择协议把 IP 地址映射到 ATM 地址。

重叠模型的优点是：使用标准的 ATM 论坛/ITU-T 的信令标准，与标准的 ATM 网络及

业务兼容，对将来通信网向 B-ISDN 方向发展比较有利。然而，在网络迅速膨胀的情况下，这种重叠方式也带来了严重的问题。

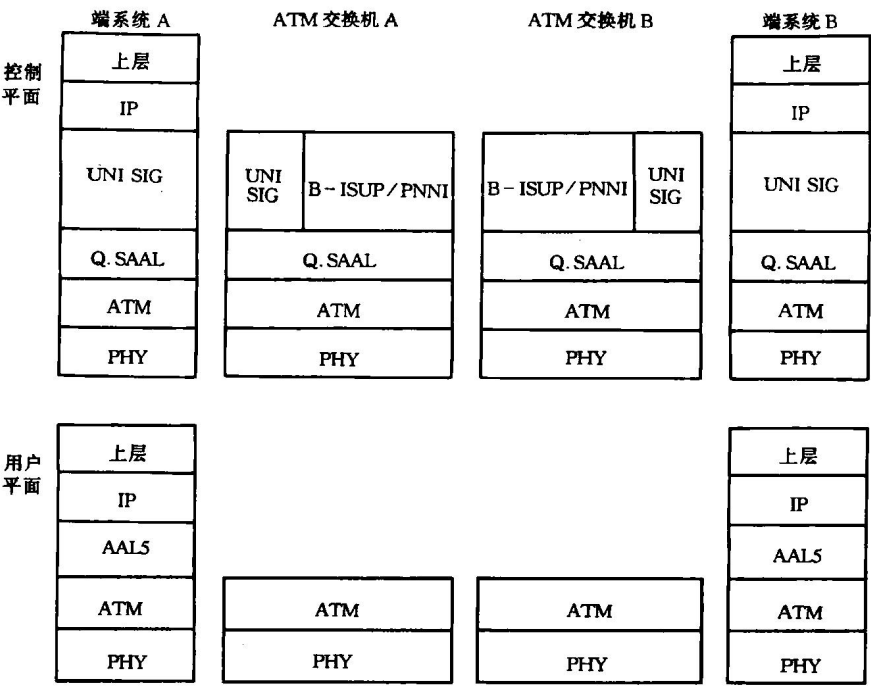


图 1-3 重叠模型的协议堆栈

如图 1-4 所示，在经典 IPOA 中，在网络的核心使用 ATM 交换机，而在网络的边缘使用路由器。网络中第三层使用的是 IP 协议，而第二层使用的是 ATM 协议。如果要在所有处于边缘的路由器之间都建立邻居关系的话，则需要在 ATM 网络中为相应的每一对边缘路由器配置一条 PVC。而其他的一些重叠模型技术也基本上都是采用的这一模型，只是在不同程度上为提高网络的运行效率采取了一些改进方案。

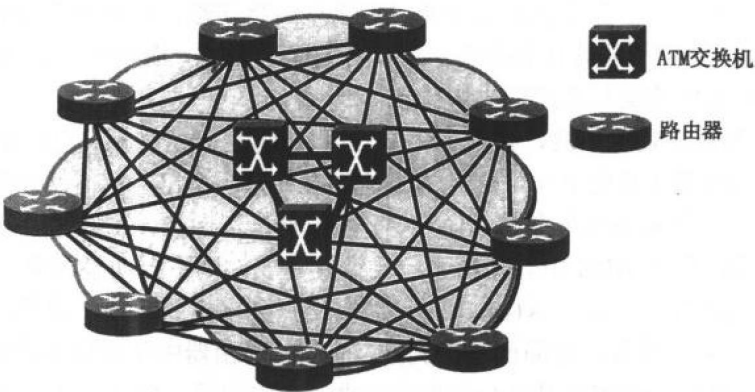


图 1-4 重叠模型造成的全网状连接

二、造成重叠模型技术复杂的原因和结果

1. IP 和 ATM 两种技术存在的差异

重叠模型技术虽然为在 ATM 等硬件交换媒体上传输 IP 提供了一种很自然的解决方案，但是由于 IP 和 ATM 两种技术本身存在的巨大差异，使得这种方式面临着很多问题。从下面的表 1-1 我们可以看到 IP 与 ATM 两种技术的不同。

表 1-1 IP 与 ATM 技术的不同

	IP	ATM
转发方式	数据报方式	信元方式
是否需要建立虚连接	无连接方式	连接方式
路由方向	单向	双向
路由	可以动态改变	无法动态改变
组播	多点到多点	点到多点
状态	无状态	有状态

首先，从转发方式上来说，IP 使用的是数据报方式，是一种无连接的网络，每一个节点独立地对 IP 包进行转发，在节点之间不需要就特定 IP 包进行任何协商和配置，当 IP 包成功转发之后，节点中将不保留任何状态记录，而当某一节点发现 IP 包出错时，也仅是简单地将 IP 包丢弃，上述特点实际上正是 IP 技术简单、应用灵活并获得广泛应用的主要原因。ATM 技术则不同，在 ATM 网络中，对于每一业务流都要预先建立起虚连接（Virtual Connection），该虚连接将由各个节点上交换机中的转发表的对应条目构成，在虚连接经过的每一个节点上，需要为特定的连接分配虚通道（VP）和虚通路（VC）以及对应的虚通道标志（VPI）和虚通路标志（VCI）。同时，还要为虚连接进行网络资源的分配和其他必要的配置。通过这种方式，ATM 将可以对业务流的业务量参数提供严格的保证，连接方式的思想可以认为是从传统电信网的工作方式发展而来的。这样，IP 和 ATM 在本质上就有了很大的不同，可以设想，要让一个无连接的业务通过连接型网络传输，何时建立连接，如何建立连接，建立多少连接，何时拆除连接都会是一个十分复杂的问题，而两种方式如果结合得不好，可以预见的结果就是网络运行效率的大大降低。

此外，IP 的数据报是变长的，在最大报文长度以下可以对各种长度的 IP 包进行直接转发，而 ATM 使用的是定长的信元，这样当其他类型的分组进出 ATM 网络时必须进行分组的分段与重组。IP 的路由表是单向的，而在 ATM 中则是双向的。IP 的路由是在路由协议的控制下动态改变的，而在 ATM 中，路由表一旦设置完成，则不会动态改变。在 IP 网中，可以实现多点到多点的组播，而在 ATM 中则只能实现点到多点的组播。此外，IP 与 ATM 的 QoS 原语也大不相同。还有，前面已经提到过，在 IP 路由器中不需要为业务流进行状态记录，而在 ATM 交换机中则需要对每一个虚连接进行状态记录。IP 是一种无状态（Stateless）的技术，而 ATM 技术则是一种有状态（Stateful）的技术。

2. 重叠模型技术存在的问题

IP 和 ATM 的设计并没有考虑对方，由此造成上述的大量重大差异，因此，在 IP 和 ATM

两种技术的结合中，必将造成大量协议转换工作以及工作方式的转换。正是由于上述原因，在重叠模型技术中，将会出现以下问题。

① 首先，最突出的一个问题是，在重叠方式中，要为所有的节点建立 PVC 连接，即需要建立如图 1-4 所示的全网状连接。这会造成严重的 N 平方问题。即当建立、维护、拆除节点之间的连接时，牵涉到的开销（如 VC 数、控制信息量）都将是节点数的 N 平方倍的数量级的。当网络日益增大时，这种开销将使网络无法承受。在网络的运行中，一条 ATM 链路出错，将可能导致 $O(N)$ 到 $O(N^2)$ 个对等实体出现，而路由信息的传输量将可能达到 $O(N^3)$ 甚至 $O(N^4)$ 数量级。这将严重影响网络的可扩展性，限制该技术在骨干网上的应用。

② 重叠方式将整个 IPOA 网络分割成许多逻辑子网（LIS），即便各 LIS 实际上有可能都在一个物理网络中，如图 1-5 所示。LIS 间由一个中间路由器而不是 ATM 交换机进行连接，如图 1-5 所示，一方面这对不同 LIS 间组播的实现与性能造成了影响；另一方面，当流量很大时，这些路由器将成为带宽瓶颈。虽然使用 NHRP 或是 MPOA 能够在一定程度上解决带宽瓶颈的问题，但是，这两种技术都是数据驱动的，它们也将消耗大量的网络资源（VC），仍然会在可扩展性方面出现问题。

上述两点就构成了重叠模型网络最严重的问题，即可扩展性方面的问题。由于存在这一问题，重叠模型技术将只能适用于网络建设的初期或者是规模较小的网络（如企业网、校园网等），而不适用于 Internet 骨干网等大规模的网络。

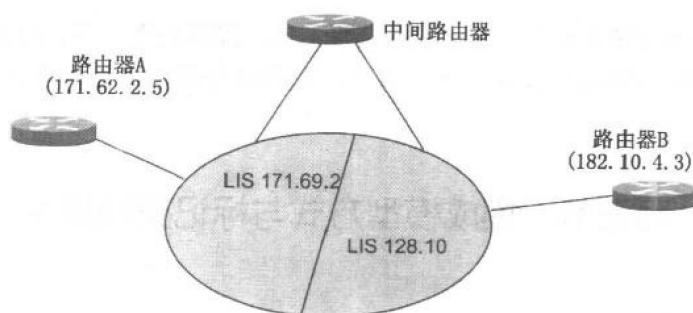


图 1-5 重叠模型中的带宽瓶颈

③ ATM 具有强大的 QoS 性能，这是在 Internet 骨干网中引入 ATM 交换机的一个主要目的。但是目前在重叠方式下，IPOA 仍然无法真正实现端到端的 QoS 保证。

④ IP 与 ATM 两种技术在设计中原本并没有考虑到对方，这首先使得二者的互通依赖于一系列复杂的协议与处理这些协议的各种服务器（如 ARP 服务器、NHRP 服务器、LES 服务器等）。由于要同时使用两套路由协议（IP 路由协议和 ATM 路由协议）和两套地址（IP 地址和 ATM 地址）。如图 1-6 所示，当使用重叠模型方式时，在 IP 和 ATM 层之间增加了一个翻译层，负责对 IP 和 ATM 的地址、信令以及各种业务量参数进行翻译和协商，这种复杂性不仅降低了 IP 分组传送的效率，而且还会对 Internet 骨干网的可靠性构成不良影响。

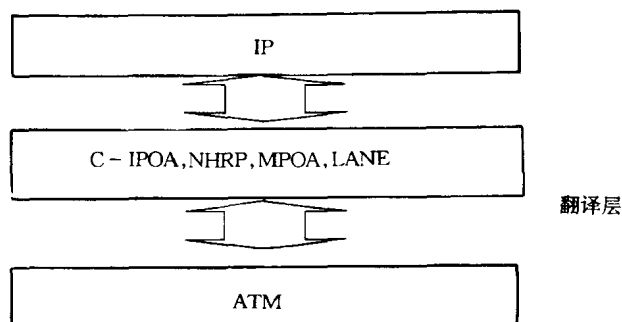


图 1-6 重叠模型下的 IPOA

MPOA, LANE 等技术在一定程度上对上述情况加以了改善, 然而它们都只是解决了一部分问题, 如它们可以利用 ATM 提供一定的质量保证; 然而, 它们使用的仍然还都是重叠模式, 在可扩展性上仍存在很大不足。比如在 MPOA 和 LANE 技术中, 都需要使用大量的服务器, 除了服务器与节点之间要进行信息的交互之外, 在各个服务器之间还要进行信息的传递, 这使得整个技术体系极为复杂。在 LANE 中要使用广播方式, 会浪费大量的广域网带宽, 而且要使用 MAC 地址, 这使得网络的处理时延更大。几种重叠模型技术都无法从根本上避免重叠模型所带来的种种问题。

那么, 到底怎么办呢? 此时, 出现了一系列不同于重叠模型方式的 IPOA 技术, 即集成模型方式, 采用集成方式的所谓的标记交换技术很好地解决了上述问题。集成模型的目的正是通过 IP 和 ATM 层的紧密结合, 简化设备降低成本, 提高处理效率, 改善网络的可扩展性。MPLS 是目前最佳的集成模型技术。下一节中, 我们将介绍集成模型方式以及标记交换技术的基本概念。

第三节 集成模型方式与标记交换技术

一、集成模型方式

所谓集成模型方式, 就是指不使用第 2 层信令与路由协议, 直接通过一定的机制使用 IP 协议来控制第 2 层交换媒体的 IPOA 技术。前面所说的各种 IPOA 技术中的后 4 种, 即 IP 交换、CSR、ARIS、Tag 交换就都属于这一模型, 而这些技术共同的特点在于它们都将为分组进行标记分配, 并使用标记来作为其网络中对标志分组处理策略的唯一信息, 这些技术统称为标记交换技术。而这些技术正是 MPLS 技术产生的基础, 在下一节中将逐一介绍这些技术。

集成模型的协议堆栈如图 1-7 所示, 在这种模型中, ATM 层被看作是 IP 层的对等层, ATM 端点只需使用 IP 地址来标识, 在 ATM 网络内使用现有的网络层路由协议 (如 IGRP, OSPF 等) 来为 IP 分组包选择路由, 在建立连接时将不再使用 ATM 信令协议。在集成模型中, 不需要地址解析协议, 但增加了 ATM 交换机的复杂性, 使 ATM 交换机看起来更像一个多协议的路由器。