

电信新技术实用丛书

宽带IP技术进展

侯自强 编著



人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

电信新技术实用丛书

宽带 IP 技术进展

侯自强 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

宽带 IP 技术进展/侯自强编著. —北京: 人民邮电出版社, 2001.9

(电信新技术实用丛书)

ISBN 7-115-09429-2

I. 宽... II. 侯... III. 计算机网络—宽带通信系统—通信协议 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 038064 号

内 容 提 要

本书较全面系统地论述了宽带 IP 技术的新进展, 内容涉及高性能路由器、DWDM 技术和 QoS 技术进展, 宽带 IP 城域网和广域网的技术进展和演化, 三网融合形成的统一的信息网和新业务等方面; 最后讨论由此导致的网络经济的形成、发展及我国面临的机会和对策。

为使读者建立整体概念, 本书一方面从发展战略高度进行全局性讨论, 另一方面对新概念和新技术也进行了较详细的讨论。适合电信、广播、网络等 IT 领域的专业科技人员和各级管理人员, 以及相关的大专院校学生阅读。

电信新技术实用丛书

宽带 IP 技术进展

◆ 编 著 侯自强

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@pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

读者热线 010-67129212 010-67129211(传真)

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787 × 1092 1/16

印张: 9.75

字数: 225 千字

2001 年 9 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2001 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09429-2/TN·1737

定价: 18.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

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、新概念并突出实用性。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

近年来，因特网的兴起和快速发展显示了 IP 网的巨大优越性。基于 Web 的 IP 数据业务的巨大市场需求推动了通信体制正在发生一场体制革命——从面向连接、时分复用、电路交换的传统电信体制转向无连接、统计复用、分组交换的新体制。快速发展的高性能路由交换技术和 DWDM 光传输技术使传输、交换能力提高了上千倍，而伴随这一过程发生的数字汇聚、三网融合现象，更对传统的电信业和广播电视业的管理、运营体制产生强大的冲击。电子商务的兴起、各种电子商务业务的发展正在改变人们的生产方式和生活方式。网络经济的快速发展表明人类开始进入知识经济新时代。电信业的工程技术人员和各级领导，其他行业甚至证券投资行业都需要了解导致发生上述变化的技术基础，了解新的技术进展、未来发展趋势以及对发展网络经济的影响。面对观点不同的文章、报导和厂商为推销其产品进行的宣传，人们往往会感觉不得要领，形不成系统的概念，难于在关键时刻进行正确的决策。

为了满足各方面读者的需求，作者综合了近年来自己发表在学术刊物和报纸上的文章，进一步补充和系统化而形成本书。本书试图从历史发展的角度和战略的高度讨论电信技术进步和正在进行的通信体制革命，及其对网络经济的形成和发展的影响。希望一般读者在阅读本书后能够对当代电信技术进步、三网融合、网络经济的形成和发展有一个较全面清晰的认识，而从事专业技术工作的读者则可以了解新概念、新技术及其发展趋势。本书还进行了一些相关的市场分析，希望这对于金融、证券、投资人员有一定的参考价值。本书最后部分讨论了网络经济给我国带来的历史机遇和挑战，望能够为各级领导进行发展战略研究和决策时起参考作用。

面对如此快速发展和变革的时代，要想正确把握技术发展的脉搏是很不容易的。本书的内容和观点难免有不恰当之处，恳请读者批评指正。

作者

打开潘多拉盒子之后

——代序

从1994年因特网开始商业化,就把囚禁在盒子中的小精灵释放出来,迅速掀起了一场因特网风暴。因特网的快速普及,交互式媒体的出现,电子商务的兴起正在改变人们的生产、生活方式。网络经济的超常发展导致人们在谈论新经济,但是伴随网络经济发展出现了网络泡沫,随着网络泡沫的破裂,网络经济又陷入低谷进入调整期。目前随着电子商务与传统产业结合及宽带网络的发展,使网络经济正在逐步走上健康发展的轨道。今天回顾过去七年的发展历程可以用一句话来概括——机遇和挑战并存。我国“十五”计划提出以信息化带动工业化,将使我国能够抓住机遇,迎接挑战,实现跨越式发展。

革命? 演化?

因特网基于IP技术,因特网的巨大成功对传统通信体制产生强烈冲击,引发了一场通信体制革命。传统通信体制的特征是面向连接、时分复用、电路交换,IP新体制是无连接、统计复用、分组交换。IP网在网络层用IP协议互联,避免了异质网络在链路层互联的困难。IP网的另一个重要的特点是基础设施和应用是分离的,便于发展各种应用。随着因特网的快速普及,IP数据流量开始超过话音,五年前IP网开始取代ATM,随后又取代SDH成为电信的基础网。1998年底国际电联ITU-T进行战略调整,将总体组SG-13组变成IP主导研究组,与IETF的标准研究机构合作制定标准,肯定了通信技术转向IP的发展趋势,进一步加速了电信业IP化的进程。目前太比特路由器和密集波分复用技术结合可以提供太比特IP骨干网。智能光网与万兆以太网(10GbE)结合正在形成新一代的宽带IP骨干网和城域网。以太网正在成为新一代宽带接入网的标准。

传统电信运营商希望IP化是一个渐变的演化过程而不是一场爆发式的革命,强调已投放的投资的保护和使用。新兴的竞争的运营商则认为这是一场改朝换代的技术体制革命,为革命者提供了机会。革命也好,演化也好,有一点是肯定的:不论是一个企业,还是一个国家能否抓住这次机会都是生死攸关的。为了应对面临的竞争局势,前不久中国电信决定在已有的SDH城域网之外,在裸光纤上另建宽带IP城域网,制定了雄心勃勃的以太网接入网为主的宽带接入网计划。这种不受传统特征和短期利益约束的战略决策显示了其领导人的远见卓识和过人魄力,也反映了电信市场竞争的激烈程度。

从封闭、垄断到竞争、开放

回顾过去几年来我国电信运营体制从封闭、垄断走向开放、竞争,所取得的成就可以充分感受到互联网新技术和开放的新体制带来的影响。

IP电话打破了话音业务的垄断局面,使得长途电话价格大幅度下降。

中国网通等新兴的竞争的运营商采用IP新技术,发展IP新业务进入电信领域,使得在

电信骨干网的建设运营方面出现了竞争格局。2000 年网通建成 8000km 40Gbit/s 宽带 IP 骨干网。中国电信 CHINANET 结点连接速率提升到 2.5Gbit/s，合计总带宽达 800Gbit/s。

国际物理出口权利被授与给多家公司，竞争导致带宽迅速增加，成本大幅度下降。2000 年下半年带宽从 1.23Gbit/s 增加到 2.8Gbit/s。

带宽出租业务形成。用户可以租用裸光纤、波长、专线（622Gbit/s、155Gbit/s）以及 IP VPN 等。价格不断地降低。

宽带 IP 城域网建设和运营出现竞争局面。

宽带接入网建设和运营出现竞争局面，光缆到楼、五类线入户、以太网接入网正在成为主流。

因特网数据中心 IDC 的建设和运营出现竞争局面。

因特网业务价值链正在形成。

机会均等？ 数字鸿沟？

因特网带来的最大变化，有人认为是改变了权利的分配方法。因特网提供了均等的机会，问题在于你是否能够抓住机会。对于任何能够把握住这一机会的人，互联网都会给他提供强大的力量。互联网提供了无数个创业机会，为弱者——新兴小公司、发展中国家提供了跨越式发展和迎头赶上的机会。人称 IP 是“庶民的胜利”。

问题是由于教育、社会和经济水平等方面的限制，落后地区、发展中国家往往不能抓住这一机会，其结果是先进的更先进，落后的更落后，这就导致出现“数字鸿沟”。

我国政府在制定第十个五年计划时提出以信息化带动工业化，制定了雄心勃勃的发展计划，决心变“数字鸿沟”为“数字机遇”。提出加强现代信息基础设施建设。抓紧发展和完善国家高速宽带传输网络，加快用户接入网建设，扩大利用互联网，促进电信、电视、计算机三网融合。健全国家公共信息网。加强信息化法制建设和综合管理。强化信息网络的安全保障体系。

三网融合

宽带 IP 网将成为新一代信息基础设施的基础网，三网融合后产生的新一代信息网将是基于 IP 的多业务网。所谓融合包括电信网和数据网（包括传统数据网和因特网）的融合，有线固定网和无线移动网的融合以及电信网、数据网和广播电视网的融合。新一代信息网将能够在统一的 IP 平台上提供各种已有业务和融合产生的新业务。这些业务可以分为两类：一类是 IP 网所固有的基于 Web 的，无连接的因特网开创和演化的新业务，从电子商务到宽带交互式新媒体。另外一类是传统电信业务的延伸和演化。

IP 电话的存在价值和竞争优势在于将互联网基于 Web 的新业务和传统电话智能网业务的优势结合起来，提供创新的综合业务。随着 10/100Mbit/s 宽带接入网的普及，现在在频道上进行的音频、视频广播将转移到新一代信息网上进行，而且将发展成为具有交互能力的新媒体。这种新媒体的内容将既有因特网 Web 的交互能力又有电视的动感和高质量的音像效果。

新一代信息网也是地面固定网和无线移动网融合的产物。这意味着在移动终端可以在任

何时间、任何地点保持与统一的信息网的固定的宽带的连接。全世界每人一个号码，它将进一步改变人类生活、工作方式。

三网融合将改变现行的运行、管理体制和法律、法规。制定新的法律、法规，发展形成新的管理运行体制将是今后重要的任务。

引起企业革命

因特网、WWW 的快速发展，电子商务的兴起对企业商务运行产生巨大影响。.com 公司形成的网络泡沫的破灭消除了浮躁情绪，电子商务与传统产业结合正在推动企业革命。

首先在企业内部管理方面，互联网内部网取代各种专门网络、协议成为企业信息化的统一平台。提供银行大型机连网业务的 SNA，用于企业管理的 ERP 和办公自动化的 Note 以及电子数据交换 EDI 都转到互联网上运行。可以说几乎所有的通信和信息处理业务都在逐步转到 IP 网上运行。而 IP-VPN 为企业联网提供了非常方便的环境，可以大幅度降低成本。小型企业可以不必建立自己的计算机信息处理系统，通过 VPN 从应用服务商那里得到包括财会等各种服务。

更重要的是因特网电子商务在改善企业外部运行环境，加强企业与客户、供应商关系方面发挥重大作用，甚至会改变商业运营模式。在工业化时期主要的企业单位是公司，主要企业活动是生产。在信息时代，主要的商业单位是商务网站，它们将一群群公司在网上结合在一起，主要的商业活动是满足顾客需要。公司不仅提供产品还要与顾客建立持久的关系。这是一次在企业运营方式上的革命。

我国在实施信息化带动工业化的发展战略中，不论在企业内部管理信息系统方面还是在外部商务系统的发展建设方面，互联网都将发挥重要作用。

结束语

随着网络泡沫的破裂，继.com 公司之后，发达国家的电信公司由于过度投资，投资效益不佳陷入经营危机，纷纷放慢了发展速度。由此进一步引发了电信网络设备制造业的危机。在我国情况则不同，在“十五”期间，在信息化推动工业化的政策推动下，将出现信息化和网络建设的新局面。一方面，要制定正确的发展战略，充分发挥互联网技术革命带来的机会。另一方面要吸收发达国家的教训，防止盲目投资造成恶性竞争，避免出现新的泡沫。这是摆在我们面前的重要任务。

作者
于 2001 年世界电信日

目 录

第一章 概述	1
第一节 数字化信息技术革命引发通信体制革命	1
第二节 IP 网成为基础网	2
第三节 宽带 IP 技术进展	3
第四节 新一代统一的信息网	4
第五节 电信业的未来	5
第六节 我国的历史机遇	6
第二章 因特网和 NII 建设	8
第一节 NII 概念的发展和因特网的兴起	8
第二节 ODN 概念的产生	8
第三节 NII 服务模型	9
第四节 因特网符合 ODN 模型	11
第五节 发展新一代因特网的计划	11
第三章 高性能路由器——IP 路由技术演化及发展	16
第一节 传统路由器及其局限性	16
第二节 ATM 网上运行 IP	17
第三节 吉比特线速路由交换机	18
第四节 太比特交换路由器	21
第五节 光电混合路由器	23
第六节 新一代开放式分组处理器	24
第四章 光密集波分复用 DWDM 系统——新一代基础传输网	30
第一节 光纤传输基础	30
第二节 光通信系统	32
第三节 从 WDM 到 DWDM	33
第四节 DWDM 技术的进展	36
第五章 IP 网的 QoS 协议结构和策略	37
第一节 引言	37
第二节 QoS 协议	37
第三节 资源预约协议 (RSVP)	38
第四节 区分服务 DiffServ 划分优先级	40
第五节 多协议标记交换 (MPLS)	41
第六节 子网带宽管理 (SBM)	42
第七节 QoS 结构	43
第八节 QoS 支持多点广播 (多播)	45

第九节	策略——实现 QoS	46
第十节	策略框架和结构	47
第十一节	结论	51
第六章	宽带 IP 骨干网	52
第一节	电信骨干网的演化	52
第二节	宽带 IP 骨干网——IP 优化光网络	52
第三节	向全光网演化	55
第四节	宽带 IP 城域网	58
第七章	宽带 IP 接入网	63
第一节	概述	63
第二节	固定电话网 ADSL 接入	64
第三节	有线电视 HFC 网宽带接入	66
第四节	以太网接入网	69
第五节	卫星宽带 IP 接入网	75
第六节	地面无线宽带 IP 接入网	76
第七节	小结	80
第八章	统一的 IP 网	81
第一节	概述	81
第二节	IP 电话和传统电话	85
第三节	IP 网上的视频业务	98
第四节	传统数据通信业务正在转移到 IP 网上	101
第五节	基于 Web 的新数据通信业务	108
第九章	新一代信息网——基于 IP 的多业务网	109
第一节	概述	109
第二节	竞争的市内电话运营商(CLEC)的战略和要求	110
第三节	因特网接入服务商 (ISP) 和应用服务商 (ASP) 的战略和要求	114
第四节	XML 是提供基于 Web 业务的有力工具	121
第五节	宽带交换式新媒体	123
第六节	固定网和无线移动网的融合	124
第十章	电信业面临因特网冲击的对策和新的竞争格局	125
第一节	ITU 的对策——将标准制定工作重点和方向转向 IP	126
第二节	宽带 IP 新体制对传统通信体制的冲击	128
第三节	传统电信运营商的对策	129
第四节	新的竞争的运营商	130
第五节	未来的竞争格局	131
第六节	我国电信业的竞争形势	132
第十一章	网络经济——挑战和机遇	134
第一节	网络经济的发展规模	134
第二节	网络经济对经济发展的推动作用	135

第三节	网络经济带来的机会和挑战	136
第四节	网络经济为我国实现迎头赶上战略提供了历史机遇	137
第五节	促进我国网络经济发展的政策性问题	140
第六节	我国的历史责任	142

第一章 概述

第一节 数字化信息技术革命引发通信体制革命

20 世纪 90 年代以来,数字化革命带来的深远影响可以概括为三点:一是数字化导致的数字汇聚和“三网”融合;二是 1994 年因特网商业化以后形成的冲击;三是在上述两件事的作用之下,通信体制从电路交换向分组交换转化的体制革命。简单地说,由于数字化使得过去几个独立的行业——电信业、广播电视业和计算机业之间出现了互相融合的趋势。由于它们经营的内容、传输手段和处理方法的数字化,导致了一个行业可以做另一行业的事情,也就是行业的汇聚与融合的现象。过去的三个不同的网络——电信网、广播电视网和计算机网之间也开始了三网融合的进程。实际上这个进程早已开始,20 世纪 80 年代电信业就开始发展窄带综合业务数字网(N-ISDN),提供话音、数据、视频综合业务,随后又发展宽带综合业务数字网(B-ISDN),20 世纪 90 年代广播业也想在有线电视网上做全业务网(FSN),但这些早期的努力都没有成功。其根本原因是,虽然这三个网出现了融合的可能性,但缺乏一个汇聚点,缺少一个共同基础。由于三个网采用不同的传输技术和协议,要从链路层上来连接这三个网几乎是不可能的。互通互联都做不到,又如何实现融合呢?因特网的出现为三网融合提供了结合点。因特网是在网络层上的互联,而不是在链路层上互联。现代电信近 100 年来一直是电路交换,在通信前先要建立连接。而更古老的通信方式——邮政通信,交换的是信件,邮局按地址选择邮路递送即可,不必建立连接。因特网采用邮政的信件交换方式,将数据组装成分组,网络上的路由器根据分组头中的终点地址选路传输,也是无连接的。在网络层互联,只用一个 IP 协议就解决问题了。至于链路是什么技术、什么媒体都没有关系,从而避免了在网络链路层互联的困难。这使互联网出现了爆炸式的增长,就好像久旱逢甘霖。多少年来想搞综合业务,就是网络联不起来,IP 协议的出现,这一问题得到了解决。所以说,IP 为三网融合提供了一个结合点,而且三个网都接受 IP 协议。

IP 网的另一个最重要的特点是基础设施和应用是分离的。任何一个人都可以在网上设立一个网页,全世界都可以看到。尽管早期因特网是窄带的非实时的数据网,由于因特网有这么突出的特点,人们还是开始尝试在 IP 网上提供话音和各种数据通信以及视频业务。关键问题是如何在 IP 网这种无连接的网上提供端到端的连接,并且能够保证服务质量 QoS。目前这方面的主要问题已经得到解决,开始出现 Everything over IP,即任何一种业务都可以在 IP 网上实现的局面。IP 网不仅可以提供基于 Web 的新的因特网业务,也可以提供各种传统电信业务,甚至视频传输和广播业务。实际上,从发展趋势看,过去的 B-ISDN 的概念在逐步消亡,未来的综合业务网将是基于宽带的 IP 网。这一点目前已经被绝大多数运营商和设备制造商所接受。最近两年产生的一系列全球性的产业重组,无一不是围绕着争夺未来 IP 市场的竞争。

第二节 IP 网成为基础网

因特网的发展对带宽的需求呈飞速增长势头,按照统计数字,平均每年翻两番。其流量的增长速度比摩尔定律快得多。为保证因特网对带宽的需求,各种电信网在过去几年内,从租用专线到 ATM 以及帧中继都被用来传输 IP 业务,即 IP over everything。现代电信网是以话音业务为主进行优化设计,它有 3 个特点:面向连接、电路交换、时分复用。虽然在其上传输 IP 数据业务的效率不高,但这个网是今天电信的基础网,IP 数据业务只能运行在这个基础网上。所以最近五六年来,大家都主要致力于如何提高在以话音业务为主进行优化设计的网上传输 IP 数据业务的效率。

随着 IP 网流量的不断增长,全世界因特网流量开始超过话音流量,如图 1-1 所示(因特网协会统计);这就出现了以谁为主的问题。以话音业务为主,基础网就要按照话音网的要求来设计,如果以 IP 业务为主,基础网就应该按照 IP 网的要求来设计。实际上最近两年的网络建设,已经开始按照 IP 业务的需求来优化设计基础网络。新建设的网络,IP 就直接在物理层——光网络上运行。这样就导致了 IP 网变成了基础网。那么 IP 网变成基础网后,原来的各种传输体制的网怎么办?如何在第三层的 IP 网上反过来提供各种第二层的链接,已经成为当前研究发展的热点,这就是 Everything over IP。

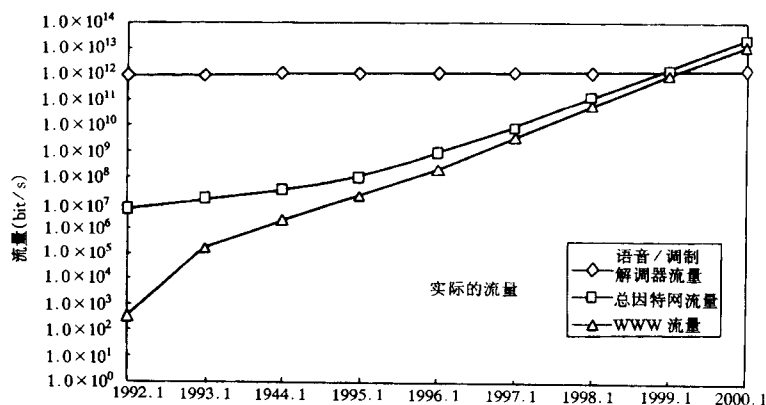


图 1-1 因特网流量增长图

我国早期的因特网骨干网,如 169 网的结构是:在光网上建立 SDH 网,在 SDH 网上建 ATM 网,再在 ATM 网上运行 IP 业务。世界上绝大多数因特网的骨干网都是这一结构。当时为什么要用 ATM,其中一个重要的原因是当时的路由器速度不够快。但 1997 年前后,随着具有 622/155Mbit/s 甚至 2.5Gbit/s 端口的路由器的出现,人们开始不用 ATM 了。因为 ATM 增加内部开销,成本高。人们开始直接在 SDH 网上运行 IP 业务,这就是 IP Over SDH。新扩建的 163 网采取的就是这一办法。与传统电信网不同,IP 网的 3 个基本特点是:无连接、分组交换、统计复用。统计复用网为什么要到时分复用的网上去运行?为什么不直接到光网上去运行?为什么还要经过时分复用的 SDH 层?如果路由器的端口速率能达到 2.5Gbit/s 或 10Gbit/s,自然而然地就出现了 IP 直接在光缆上或者密集波分复用的光传输系统上运行,即

IP over Optical 或 IP over DWDM。这样就出现一种情况，链路层被跳过去了，网络层直接在物理层上运行，反过来第二层链路层怎么办？如何实现 Everything over IP 成为研究热点。结果是各种在第二层进行连接、交换的业务都可以在第三层上实现，IP 基础网上同样可以提供今天的各种电信业务，这就是所谓的 Everything over IP。从电话角度看，最早是 Voice over TDM（在时分复用电路上传送电话），然后是 Voice over ATM，再进一步就是 Voice over IP。因此，未来的核心网就是一个光网，IP 直接在光网上运行。这一过程在最近 5 年引发了一场通信体制的革命。以“面向连接、电路交换、时分复用”为基本特征的传统电信体制将转变到以“无连接、分组交换、统计复用”为基本特征的新体制。国际电联处在一个非常关键的位置，前两年，国际电联主席曾经说过一句话，“看来 Internet 的强烈冲击会动摇我们几十年工作的基础”。从 1998 年年底到 1999 年年初，国际电联在技术战略上做了重大调整，全面开始 IP 标准化研究工作。过去国际电联认为，通信业的未来是基于 ATM 的 B-ISDN，基础设施都是建立在这个基础上的。国际电联咨询委员会 ITU-T 的总体组（SG-13 组）一直是在沿着这个方向研究标准。现在决定把 SG-13 组变成 IP 主导研究组，与 IETF 的标准研究机构合作制定标准。实际上国际电联的这项调整，就是肯定了通信技术转向 IP 的发展趋势，这将对整个电信业的发展产生深远的影响。

第三节 宽带 IP 技术进展

目前的因特网是窄带的，没有 QoS 保证，用这个网不可能代替今天的电信网。但是随着技术的发展，正在出现新一代宽带的、能够提供端到端连接，有 QoS 保证能力的 IP 网，我们称之为宽带 IP 网。其中有两项关键技术：一是高性能路由器，整个 IP 网的基础是路由器，5 年前最好的路由器端口速率是 45Mbit/s，背板交换速率为 1Gbit/s，不能满足当时因特网骨干网的需求，只好采用 ATM，但在 1996 年、1997 年发生了重大技术进步，采用专用集成电路（ASIC）的路由器速率有成百上千倍的增长。商品路由器背板的交换速率大多数已经达到了 50Gbit/s~60Gbit/s 的水平，端口速率也达到了 2.5Gbit/s。1999 年年底已经有几家公司推出具有 10Gbit/s 端口的路由器，其背板交换速率则达到了几百 Gbit/s 甚至几个 Tbit/s。第二是密集波分复用（DWDM）技术。密集波分复用技术最近的发展速度令人眼花缭乱（下面将详细介绍）。因此，宽带 IP 网是基于高性能路由器和密集波分复用技术来实现 IP over DWDM 的。

概括起来，新式高性能路由器的特点是：

（1）它不再单纯是一个路由器或单纯的一个交换机，而是实现了层二、层三、层四一体化。包头（前缀）打开后，是第二层的就做第二层交换，是第三层的就做第三层选路，还有第四层 TCP/IP 和保密授权等处理。最近的趋势是演化为分组处理机，号称 OSI 模型层一到层七处理都做。在网络边缘服务点设备将提供交换、路由、VPN、带宽分配、防火墙和加密等综合处理功能。

（2）局域网、城域网和广域网的界线在消失。过去，由于传输速率和距离不同有局域网、城域网和广域网之分。现在的局域网从传输技术来说很容易推广到广域网，几千公里都可以传到，可以做一个全球局域网，这都归因于光通信技术的成熟与发展。LAN、MAN 和 WAN 将有可能采用统一的数据格式和传输体制，这将会大大简化设备，降低成本，便于实现无缝连接。

世界上第一个 IP over DWDM 网是加拿大的 CANet3, 这个网是一个非赢利的实验网, 目前部分已开通。它既不用 SDH, 也不用 ATM, 直接在波分复用系统上运行 IP, 没有任何 SDH 和 ATM 设备。而且原来 SDH 自愈恢复等功能将由多协议标记交换 (MPLS) 在第三层上来实现。CANet3 网就是从加拿大东海岸到西海岸, 全长 1.1 万多公里。1999 年的 9 月、10 月, 中国科学院和中国网通公司在广电总局的支持下做了一次 IP over DWDM 试验。利用广电总局的光缆, 在天津—北京—石家庄段上进行试验。光缆是普通的 G.652 光缆。世界上的主要厂商都被邀请参加这次试验。先测试他们的设备, 然后再上网。最后有 3 个厂商的路由器, 5 个厂商 (包括两个国内厂商) 的 DWDM 设备被拉到现场联网。仅用两天时间就全部接通, 成功地进行了 IP over DWDM 试验, 将不同波长信道首尾相接, 模拟了 2500km、15 个城市的连网传输。在网上成功地进行了各种数据、话音和电视节目的传输。2000 年 10 月中国网通公司的基于 IP over DWDM 技术的连接 17 个城市总长 7000 多 km 的宽带 IP 骨干网 CNCNet ($8 \times 2.5\text{Gbit/s}$) 正式开通。网通公司成为世界上首批采用 IP over DWDM 网进行商业服务的公司。实际上, IP 作为基础网, 已经为越来越多的人所接受, 现在电信设备制造商如果不能提供 IP 设备, 未来就没有它存在的位置。为发展宽带 IP 技术做出贡献的多是新兴的高技术小公司, 传统设备制造商要尽快转变为一个 IP 数据设备公司最简捷的途径就是收购有成就的高技术小公司。于是出现了并购热潮, 通过并购把最新技术拿到手里。每个公司都打出了 IP 数据网络新旗号, 来争夺和抢占 IP 市场。

下面讨论带宽增长问题: 目前比较成熟的是 $32 \times 2.5\text{Gbit/s}$ DWDM 系统与 240Gbit/s 的高性能路由器配合构成的速率为 60Gbit/s 的宽带 IP 网。2000 年 10Gbit/s 的传输技术开始商业化, 可以提供 10Gbit/s 的速率, 传输 4000km 不用电再生。目前从美国东海岸到西海岸的速率为 10Gbit/s 的传输网已经开通。在 3~5 年内, 单根光纤 6.4Tbit/s 传输就可能实现, 带宽的增长速度可以说是令人眼花缭乱。人们可能要问, 到什么时候才需要用这么高的传输速率? 请不要忘记, 因特网的流量是每半年翻一番。AT&T、MCI 和 Sprint 是目前美国 3 个大的传统运营商, 最近又成立了 Level3、Qwest 等 7 家新运营商。这些新运营商在全美重铺光缆, 每家都铺了几万公里光缆, 然后用 IP over DWDM 建网, 而不再使用传统的程控交换机。据预测, 到 2001 年, 全美国骨干网带宽将达到 100Tbit/s , 其中 AT&T 等 3 家拥有的不到 1/4, 3/4 的带宽会被新公司拥有。另一个问题是网络传输交换的成本。DWDM 和高性能路由器把网络传输和交换成本大幅度降低, 传统的程控交换机电路交换每 1 元钱所能达到的性能和新式的高性能路由器差 1000 倍。用一句话概括: 宽带 IP 网的推出, 可以成百上千倍地增加带宽, 几十或上百倍地降低成本。

第四节 新一代统一的信息网

三网融合后会出现什么, 从电信业来讲认为是新一代电信网, 广播电视网认为是宽带交互式新媒体, 计算机业则认为是网络计算, 每个行业对新一代信息网是站在自己的立场上来理解的。但是应该说, 新一代信息网的功能绝不是现在各网功能的简单延伸, 它将运营新业务, 会按新的体制来运营, 也需要新的管理体制和新的法规。

从电信业的角度看, 目前的主要业务是传统的数据业务、传统的话音业务和目前的因特

网业务。今后将会增加新业务,包括虚拟专网(VPN)、多媒体通信、高速因特网接入、电子商务和基于 Web 的呼叫中心(Call Center)等。目前有一种认识上的误区,认为 IP 电话就是为了省钱,并不知道 IP 电话是把计算机和通信等结合起来,它会创造一种新的业务、新的服务方式和新的传输体制,它不是原来业务简单的延伸。比如现在的呼叫中心和未来的基于 Web 的呼叫中心就会有非常大的区别。下面讨论 IP 电话的传输体制。

在电话传输过程中,现在要经过市局交换、长途交换的程控交换机和光纤网的 SDH 传输。这个体系发展得非常完善, No.7 信令、智能网从服务到计费功能是非常完备的,但是传输和交换设备复杂,成本高。而 Voice over IP 则采用完全不同的体制, IP 电话经过网关就进入了宽带 IP 网,用高性能路由器进行交换,传输是 IP over DWDM。结果是可以大幅度增加带宽,大幅度降低成本。目前我国几个电信公司开展的 IP 电话业务都是实验性的,规模较小,城市之间是用 SDH 网提供的 E1 进行连接,采用 No.1 信令,只有最基本的通话功能。因为还是租用原来的线路,所以并不能真正降低成本。未来的 IP 电话,整个干线网络传输都是用宽带 IP 网,干线网络交换传输成本会有大幅度降低,那时打长途将和现在打市话一样便宜,而且还融合了新的功能。IP 网和传统电话网的融合还将经历一个发展过程,最简单的是企业内部装个网关打电话,下一步网关要采用 No.7 信令,要支持现在智能网的全部服务功能,这就比较复杂。再往上演化,就是所谓可编程的交换机和进一步综合的交换机。实际上,现在的研究热点是如何使 IP 网能够提供端到端的连接,能够提供 QoS。如何调动 IP 网的资源,快速地建立端到端的连接,提供服务,而又将它和传统的电话网上的资源结合起来统一控制。这就是今天所说的软交换和用 XML 语言的控制,这个问题目前是各公司的研究开发重点。Everything over IP 才开始,还有很长的路要走。从发展看,未来不管是无线移动电话、传统固定电话还是 IP 网,会构成一个统一的信息网。

现在的通信业有两大热点:一个是因特网,一个是移动通信。而这两者结合就会产生非常大的能量,这就是无线因特网。目前重点发展的两项技术,一个是无线应用协议(WAP),手机利用一个简化的 IP 协议即 WAP 协议来接入因特网。学术界在 1999 年年初讲 WAP,到下半年媒体就将它炒得沸沸扬扬,各厂商也展开强大的广告攻势。2000 年北京等城市开始实验性服务。但是市场对 WAP 反映冷淡,发展很不理想。相反,短消息服务却得到了快速发展。看来还需要一个发展成熟的过程。另外一项是通用分组无线系统(GPRS)它可以在 GSM 系统上提供高速数据接入,2001 年下半年我国一些城市将提供此项服务。今后更重要的是第三代移动通信和 IP 的融合。目前固定电话已经开始向 IP 电话转移,那移动电话还能长期保持它自己的交换系统吗?不可能!移动电话的交换系统必然 IP 化,目前 3GPP 的 R.5 已经增加采用 SIP 的 IP 电话系统。MWIF 等组织也在促进 3G 向全 IP 演化。

第五节 电信业的未来

2000 年初国际电信联盟(ITU)开了几次会,讨论因特网革命和因特网经济对电信业的冲击和影响,总结出因特网和传统电信网不同的两个特点:一是无连接和面向连接不同,分组交换和电路交换不同;二就是收费方法不同。因特网收费与距离和通信时间都没有关系,因特网中两个网互联是免费的;而电信网则是按流量计费,按通话距离和时间收费。这是收

费体制上的差别。另外,在因特网的互联问题上美国的作法是不公平的,任何一个国家与美国连接,连接线路全部由该国自己负担。而对于电信网而言,连接两个国家或两个公司之间的线路是由双方共同负担的。在因特网上业务流和价值流并不直接对映,而且是美国居于绝对统治地位。新一代因特网如果能够提供传统电信的各种业务,就会对传统电信业的零售、批发体制构成威胁。因特网的收费是非常简单的,干线网上彼此互相连接就不收费,对个人用户则采用包月制收费,系统非常简单。在因特网上按照传统电信体制收费将会遇到很多问题:要区分不同类型的流并加以标记就有困难,要测流量并且两边计帐非常难,要确立网络中间多个结点的相对关系就更难。目前基本上有两种解决方案:一种是仍然按照因特网目前的收费方法,QoS 做简单些,网络带宽尽量做宽,只要不出现堵塞就没有 QoS 问题,也不需要和服务进行分类;另一种方案是,设法实现比现代电信网更方便快捷的各种服务,提供分类服务和相应的收费系统。比如说,某用户想在天津、北京和石家庄之间开一个电视会议,现在的方法是向电信公司租用线,然后再联网,这需要很长的时间。而在未来的因特网上,用户可以到门户站点上登记,把连接地点、带宽、延时抖动限制和会议时间等要求提出来,签订协议后很快可以连通并提供服务,同时按照协议自动计费。这将发展出一种企业消费型服务新概念。这项技术的基础是扩展标注语言 XML。超文本标注语言 HTML 在 Web 的网页描述中起了很大作用,没有它就没有今天的 Web!但是它只是一种显示的描述,不能用于网络资源的调动和控制,XML 语言的出现和发展解决了这个问题,通过 XML 语言就可以控制调动网上资源。所以,实际上基于 Web 提供的各种传统电信业务和新业务都可以统一使用 XML 语言。这样就能够做到网上即时注册即时提供服务,而用户端设备只是一个多功能的服务点接入设备。用户通过接入点的设备进网,用的时候只要通过计算机上网和门户约定,然后做一个合同,就可以接受各种各样的服务,同时其他网上应用服务商(ASP)所提供的服务也可以得到。比如有另外一个公司专门提供财会服务,那么通过网络不但可以联通本单位几个点,还可以接受另一公司提供的财会服务。最近 XML 语言的国际组织和联合国的一个机构联合开发 ecXML 语言,整个电子商务都将搬到这个框架上来。目前已有几家公司用 XML 语言来提供电话的话音服务。

目前,美国在全球因特网上处于中心地位,主要信息流都通过它,主要内容的 80%~90%都从它那里出来。几乎所有国家的信息流都是入大于出,只有美国是出的多进的少,所以美国处在一个决定支配地位。目前尚没有一个政府间国际组织对其进行制约。因此,因特网可能发展的前景有以下几种:一种是保持现状,美国还占主要地位,拥有主要内容和传输网,世界各国还得向它进贡;另一种可能就是全球化,其他地区发展比美国快,这样就可以把美国的垄断地位打破,会建立政府间的组织,建立新一代信息网络的新秩序。最近中美之间因特网的对接线路上,从中国流出的流量已经开始超过从美国流入的流量,表明情况正在发生变化。

第六节 我国的历史机遇

中国互联网发展非常迅速,目前中国电信 CNINANET 骨干网各结点之间连接速率已经达到 2.5Gbit/s,带宽总和达 800Gbit/s,中国网通 CNCNET 连接 17 个城市骨干网带宽为 40Gbit/s。估计 2001 年底,中国因特网用户将发展到 3000 万户,要做到连接好而且保证宽带,