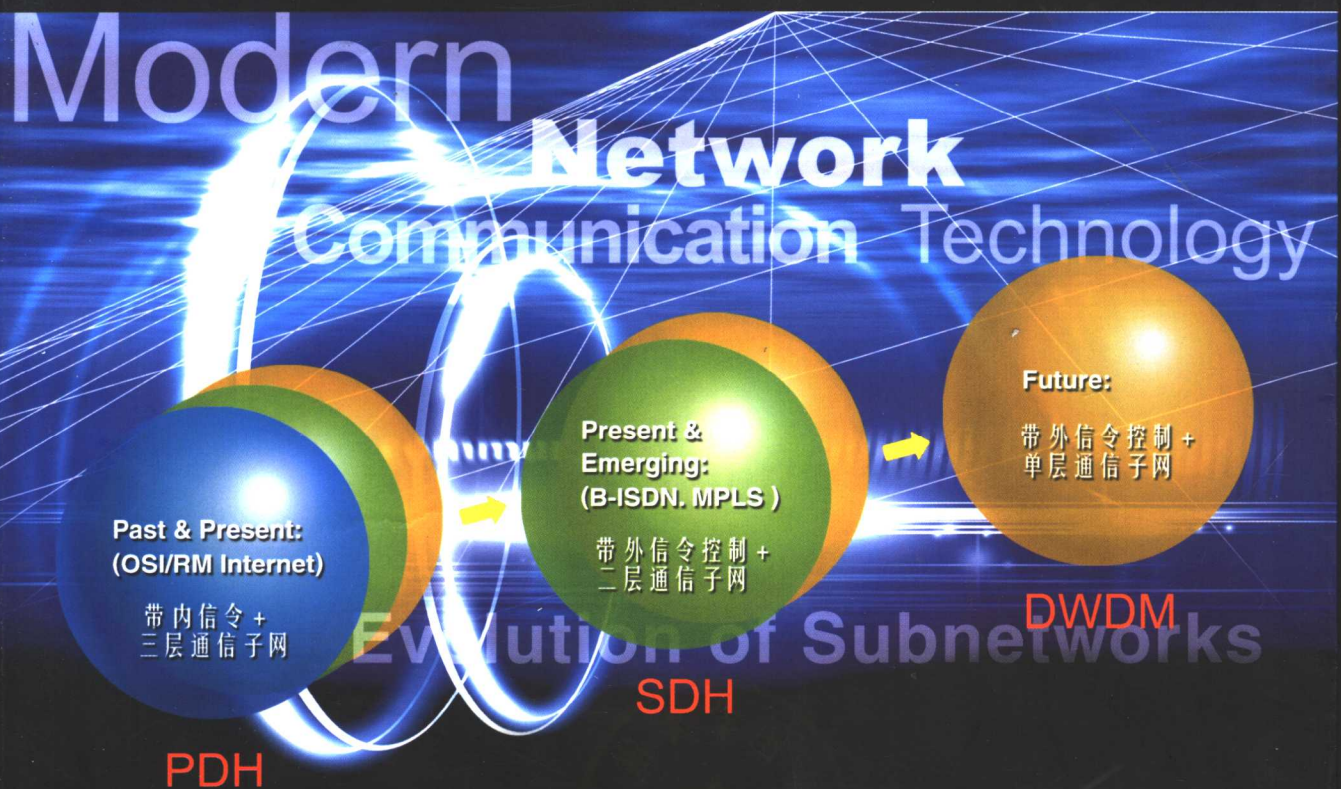


◆ 计算机、网络与通信技术系列丛书

现代网络通信技术

曾华燊 编著

朱怀芳 主审



西南交通大学出版社

现代网络通信技术

曾华荣 编著
朱怀芳 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

现代网络通信技术 / 曾华荣编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2004.1
ISBN 7-81057-531-7

I. 现... II. 曾... III. 计算机通信网
IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 029472 号

现代网络通信技术

曾华荣 编著

*

责任编辑 苏燕辰

封面设计 刘 群 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 33.75

字数: 782 千字 印数: 1—5000 册

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-531-7/TN·324

定价: 48.00 元

内 容 提 要

《现代网络通信技术》是针对计算机网络技术发展迅速但教材滞后,以及缺少全面介绍网络通信子网技术的教材和专著的现状而编写的。

《现代网络通信技术》编写目的在于用分层结构观点和“带内/带外信令”技术的观点指导和培养学生分析和理解网络体系结构;通过网络和通信技术的结合使其初步掌握现代计算机网络通信子网的发展趋势;通过分层协议的分析理解网络协议的基本技术。为此,在材料的选择上,除了必要的基本技术的讨论外,本书还介绍了大量的高速网络通信技术。①在高速骨干网通信技术方面,对准同步数字体系结构(PDH)、同步数字体系结构(SDH)、密集波分复用(DWDM)、帧中继(Frame Relay)和异步传输模式(ATM)等技术进行了较为详细的讨论;②在高速接入技术方面,重点讨论了各类数字用户线技术(XDSL)、同轴电缆上使用的电缆调制解调器(Cable Modem)技术和 HomePNA 技术;③在局域网或园区网技术方面,则重点讨论了以 IEEE 802.3(即通常所说的“以太网”)为基础的技术随着传输速率的提高(从 10 Mbps 至 2002 年出现的 10 Gbps),技术上的巨大变化(全双工技术、自动协商技术、流控技术、数据传输的优先权技术、虚拟局域网技术和各种交换技术);④在典型的广域网技术中,重点讨论了 B-ISDN 和 Internet 的通信子网技术(基本协议、控制协议、服务质量问题和系统互联问题)。掌握这些知识,将有利于适应 21 世纪网络的数字化、高速化、多媒体化和三网合一的新趋势,有助于参加我国信息基础设施(NII)和信息超级公路的建设。

本书是为工科大学与计算机相关专业的本科生和研究生提供的教材。全书自成体系,即使是未学过任何计算机网络或通信技术课程的学生,也可以通过本书的学习,循序渐进地掌握计算机网络的基本技术和发展动向。授课教师可根据学习对象和侧重点的不同,对教材的内容进行适当剪裁。为了便于教学,每一章都附有部分参考资料和思考练习题。本书也可作为从事计算机网络应用、设计和实施的工程技术人员的自学参考书。

序

现代网络技术，特别是高速网络的发展，与现代通信技术的发展密切相关，不可分割。而现有的教材与书籍大多为计算机网络或通信技术方面的专著，前者通常将重点放在数据链路层及以上的协议层，而后者大量涉及通信技术基础本身。对于从事计算机网络技术专业的人员，通过通信方面的专著来了解与网络有关的物理层技术，过于复杂；而对从事通信专业的人员希望涉足计算机网络，相关的计算机网络的书籍又很少将通信背景与网络技术结合起来。因此，需要一本能将二者结合起来，便于较全面地了解现代网络通信技术的书籍。

由曾华荣编著、西南交通大学出版社出版的《现代网络通信技术》一书，是一本以 OSI/RM 下面 3 层构成的通信子网为对象的教材和技术专著。它较好地将计算机网络技术与通信技术结合在一起，在传统计算机网络技术的基础上，增加了通信技术，特别是近年出现的高速通信技术（DWDM、XDSL、SDH、HomePNA 等）和常见通信介质等方面的内容，从而增强了对 OSI/RM 中物理层的讨论，更加有利于全面地掌握现代计算机网络技术。将常见的网络教材与技术书籍中偏重于物理层之上的计算机网络技术与通信技术相结合，可以说是《现代网络通信技术》一书的第一个特点。

该书的第 2 个特点是内容较新。以局域网技术为例，书中第 6 章系统地讨论了以太网多年以来在体系结构上的变化，分析了传输速率从 10 Mbps 发展到最近出现 10 Gbps 的过程中，所使用的介质的变化、工作模式的变化（半双工/全双工），以及随着速率的提高而引入的交换技术、流控技术、自动协商和对多媒体数据传输的优先权控制技术。内容较新的特点也反映在对其他高、中速网络与通信技术的讨论上，包括 ATM、帧中继、SDH、DWDM、XDSL、HomePNA、以及 56 kbps 调制技术等近年出现的新技术。

该书的另一个特点是始终以协议分层的思想贯穿全书，去分析现有的各种网络体系结构，既以 OSI/RM 为背景，又不局限于 7 层的观点。这一点与编者在英国学习与工作期间参与英国 ISO 对口工作组的活动分不开。编者在第 2 章中，利用 OSI/RM 分层思想对现有的各种广域网的体系结构进行了讨论，运用带内和带外信令技术的观点，分析解释了一层或两层用户数据运载网能够存在的道理。这一点在对 ATM 网络的讨论中，显得特别突出。该书全面分析了 B-ISDN 的用户、控制和管理 3 个平面的协议层次结构和相关协议，廓清了现有的典型网络教材中将用户平面中的 ATM 信元层视为网络层，将端系统中的应用适配层（AAL）视为传送层的错误概念，解释了如何利用控制平面的网络层实现网络连接的建立，从而最终在只有两层的用户平面上完成传统观点上需要网络层的通信子网功能。作者结合自己对未来“三网合一”的 Internet 网络体系结构的研究工作，预见：如果采用带外信令控制技术，未来高速网络有可能简化为基于 DWDM 的单物理层用户数据传输平面的体系结构。读者不难发现，编者在书中对许多技术进行了诸多解释与评注，从这种意义上讲，该书是“编中有著”。

最后,值得一提的是:该书在内容展开上也有一定的特色。第1章计算机网络概论除对基本概念进行了讨论外,分析了计算机网络技术发展的3个里程碑以及目前正在出现的从信息传输网向信息网络过渡的趋势;在讨论OSI/RM的方法上,采用了从实例出发逐步引入各层功能的方式,使初涉计算机网络的学生很容易理解其内涵。第2章从带内、带外信令的观点出发,分析了3、2、1层用户数据传输平台的典型公用数据网的体系结构,进而预见未来通信子网用户数据传输平台向单物理层方向发展的趋势。第3章“通信介质网与数字通信技术”,通常属于OSI/RM以外的范畴,传统的计算机网络书籍中很少涉及,该部分内容对于理解物理层技术十分重要,对于今后从事网络工程建设也会有所补益。第4、5章分别讨论物理层和数据链路层技术,重点是高速广域网技术和高速接入技术。根据局域网技术的特点,第6章将物理层与数据链路层放在一起进行讨论。作为通信子网的教材,第7、8章止于网络层,分别对3个有代表性的网络协议:X.25分组级协议、ATM信控管理平面的网络层协议和IP网络层协议集进行了详细的讨论。在对ATM信控平面的讨论中,回答了只有物理层和数据链路层的ATM用户平面,如何能够实现网络寻址的问题。在对IP网络层协议的讨论上,作者以3子层的内部结构的新观点,详细地讨论了两个版本的IP协议的特点和异同,讨论了IP子层之上的各种协议(路由协议)。对网络互联问题作了较多的讨论,包括协议转换和Encapsulation的各种“Over”方式。

总之,《现代网络通信技术》一书是一本针对计算机网络通信子网技术、包容许多最新通信技术、适合教学和科研工作的基础性力作,其中包含不少作者研究工作的成果和独到的见解以及一些值得研究探讨的课题。值得注意的是,新一代信息网络技术正在迅速发展,有兴趣的读者还需要不断及时采集、充实最新技术知识,才能始终保持着高视点、广视角地纵览、细查万紫千红的信息网络世界。

国家信息化专家咨询委员会委员
中科院计算技术研究所
主任研究员、博士生导师

王 钊 刚

2003年11月30日

前 言

谨献给从事计算机网络通信技术与开发工作的年轻一代/

1. 本书编写的背景

首先,网络技术的飞速发展及相关技术书籍和教材出版的缓慢形成了鲜明的对比。以最流行的 A.S.Tanenbaum 的《计算机网络》一书为例,1981 年出第 1 版,1988 年出第 2 版,1996 年出第 3 版,平均 7~8 年才改版一次。即使是最新的第 3 版,距今已有 7 年。以局域网技术为例,该书出版之时,“百兆以太网”刚问世,而今“千兆以太网”已经广泛使用,“十千兆以太网”标准已公布一年。20 多年来,以太网的工作模式早已从“半双工”发展为“全双工”,从多台计算机共享介质的广播方式发展为独享介质的二层、三层交换方式;自动协商、流控、优先权控制和组织虚拟局网的技术也日臻成熟。教材的严重滞后已经影响到学生尽快掌握网络技术的最新进展,因此,急需一本内容较新的教材。

其次,计算机网络与通信技术相互促进,不可分离,特别是对现代高速网络。而现有的计算机网络书籍中,对相关的通信技术的内容涉及甚少;通信技术的教材涉及计算机网络的技术也不多。因此,计算机网络与通信专业的学生都较难把二者有机地结合起来,需要一本网络与通信技术相结合的教材。此外,属于 OSI/RM 讨论范畴之外的物理通信介质,在相关的教材中也很少涉及,也应当在教材中适当补充。

再次,浩瀚的计算机网络教材与书籍大体可分为两类:全方位地涉及 OSI/RM 7 个协议层次的书籍和以 Internet 网络技术或专用网络技术(如局域网)为对象的书籍。但网络技术与通信技术紧密结合的通信子网(OSI/RM 的下 3 层),却缺少专著。本书希望能填补这一空白。

基于上述考虑,笔者在从事计算机应用专业学生的网络课程教学中,逐渐萌发了编写一本针对通信子网的专著,希望能将网络技术与通信新技术有机地结合起来。它既可以作为计算机专业和通信专业大学本科或研究生学习通信子网的教材,也可作为从事计算机网络工程设计与建设的工程技术人员的参考书。其特点应当包括内容新、协议分层概念清晰、分层协议的讨论适中并能与宏观体系结构结合紧密、通信技术与网络技术能较好地融合。能否如愿,尚需要实践的检验。

本书的编写历时 3 年多,感谢 Internet,使笔者能在网络漫游中度过了一生中最有意义的一段网络学习的生活。从这种意义上讲,本书自身就是网络时代的产物。笔者试图在本书中灌输两个基本观点:① 用分层思想和带内/带外信令的观点去分析和解决网络问题;② 通过对典型协议的分析去理解掌握网络的基本技术。这是笔者 20 多年来在学习和研究网络技术中的一点体会。

网络通信技术是现代社会发展最快的领域之一,在本书的编写过程中,数百个文本的阅读使笔者受益匪浅;同时,技术更新之快也使人难以停笔。本书曾几易其稿,停笔前,还

曾想对本书大做剪裁,并增加有关“城域网”技术的内容。但最终接受了同事的忠告:“写书是一门永远会带着遗憾的艺术,学无止境,书无终期”,反复思之,只好将遗憾留给未来的书稿去弥补。

2. 本书内容介绍

本书共8章,开放式互联参考模型(OSI/RM)的基本分层思想和通信系统中的“带外/带内信令技术”的观点可以说是贯穿全书的主线索。本书的结构安排,在总体上采用了分层讨论的格局,其中一个例外是:在讨论局域网技术时,将“物理层”和“数据链路层”放在一起进行讨论。分层讨论的优点是较容易对各层的协议进行深入的讨论,也容易对不同的同层协议进行比较;其缺点则是较难对多层结构的特定网络形成较完整的概念。为了弥补这一缺陷,在第2章中,笔者用带内和带外信令控制的观点,对现有的典型网络的体系结构、通3层、2层与单层信子网进行了较为全面的讨论,指出了采用带外信令技术有可能对现有的Internet体系结构进一步简化,进而在将来通信子网实现基于DWDM的单物理层的用户数据传输平台。读者在学习某种特定网络的某一层协议时,重温第2章相关部分将有助于全面理解相关技术。应当指出:任何一种组织全书内容的方法都可能存在某些局限性,放在某一章中讨论的内容,可能会与其他章节有所关联。为此,书中在相应部分作了必要的说明。为了便于教学和自学,本书在每章之后都列有主要参考资料和思考练习题,在相关部分还列有大量的参考文本号。

本书第1章首先简要地回顾了网络技术发展的历程,分析了网络技术发展的3个重要里程碑,讨论了计算机网络的内涵及与其他系统的区别;然后,从实例出发逐步推出了OSI/RM的7层模型。这是笔者在多年教学中探索出的,较容易使学生理解抽象的OSI/RM的教学方法。

为了进一步强化网络体系结构的概念,第2章以OSI/RM为背景,较为详尽地分析了各类典型公用数据网的层次结构模型,为读者学习后续章节的分层协议提供全局性的参考。在讨论典型网络体系结构时,本书始终抓住电信网络将“信令与管理网”与“数据运载网”相分离的特点来分析网络体系结构,使学生容易理解为什么公用数据通信网中存在两层或单层用户数据运载网的现象。这一思路在分析ATM网络时特别有用。A.S. Tanenbaum的《计算机网络》中把ATM层解释为网络层,由于运载网中的ATM层本身并不具备任何网络层的基本要素,因而难以自圆其说。但是,如果以用户数据运载网与“信令网”相分离的观点去观察,就不难解释相关的问题。类似地,也很容易解释用户数据传输平面只有物理层的电话网、两层结构的帧中继网和ATM网,以及近年出现的多协议标签交换网络为什么可以完成广域通信子网功能的道理。该章最后讨论了两个未来信息网络体系结构模型GII和ODN,并分析了分离模式与非分离模式对未来网络体系结构可能带来的影响。可以预见,带外信令控制技术有可能使未来网络的通信子网的用户平面进一步简化为只有物理层的单层平面,进一步提高对用户数据的传输效率和确保实时性要求高的用户数据传输的服务质量。

针对现有网络书籍中对相关通信技术和通信介质问题讨论较少的情况,第3章单独将相关问题作为一章来进行讨论,以便为后续章节奠定通信技术与通信介质方面的基

础。该章对编码技术的讨论是学习后续章节物理层技术的基础,如曼彻斯特编码、5B6B 和 8B10B、64B66B 编码。有了这些基础,理解第 6 章中不同速率的局域网技术采用的物理层编码就较为容易。调制解调器是重要的接入设备之一,第 3 章对有关的基本原理进行了简要的讨论,但是,考虑到 V.32 和 V.90 以及 DSL 所采用的调制解调技术的特殊性和重要性,结合实际讨论会更有针对性,故将典型调制解调器的讨论放在第 4 章的物理层技术中进行。类似的情况还有 PDH、SDH 和 DWDM 技术,作为一种独立的物理层通信系统,可归入第 2 章体系结构中讨论;而通信接口本身又可归入第 4 章物理层;这 3 种技术所采用的信道复用技术,又可以归入第 3 章通信技术基础。权衡的结果,本书将 PDH 与 SDH 放在了第 2 章,把它们作为重要的单层用户数据传输网络结构的实例来讨论;而将 DWDM 作为一种特殊的“物理层复用技术”的实例,放入第 3 章。读者在学习过程中应注意章节间的相互关联。

第 4、5 章分别根据第 1 章中界定的物理层与数据链路层的基本功能,对归属于该两层的典型协议进行了较为详细的讨论。除传统的协议外,第 4 章对其他教材中涉及不多、近年发展很快的高速接入技术及其应用进行了讨论,以利于读者今后处理网络工程中的接入问题。这些技术包括:各种数字用户线技术(XDSL)和同轴电缆调制解调器技术(Cable Modem)。另一种新型的接入技术 HomePNA,考虑它与以太网的相关性,被放在第 6 章以太网的讨论之后进行。第 5 章以高级数据链路协议(HDLC)为主线索,重点讨论了 X.25 协议、帧中继协议、点到点协议(PPP)和 ATM 信元层协议。从实用的角度出发,第 4、5 章分别对与传统调制解调器有关的物理层和数据链路层协议进行了必要的介绍。

由于局域网的数据链路层与物理层结合紧密,采用把它们放在第 6 章一道讨论的方式。该章以 IEEE 802.3 (也即所谓的“以太网”)技术为主线索,沿着“十兆”、“百兆”,到“千兆以太网”以及新通过的“十千兆以太网”(IEEE802.3ae)的发展历程展开对以太网技术的讨论。对每次速率的提高所带来的新问题以及所采用的特殊技术和由此引起的体系结构上的变化、“半双工”与“全双工”、数据处理的优先权问题、二层和三层交换技术的内涵与特点、自动协商和流量控制问题,以及优先权控制和虚拟局网技术,该章都进行了较为全面的分析探讨。正是由于以太网技术所发生的这一系列变化,使该技术的应用范围超越了局域网的范畴,正在进入“城域网”的应用领域,将来还可能会延伸到“广域网”的范畴。该章对其他局域网技术,如 FDDI、令牌环和令牌总线仅作了简要的介绍。

通信子网可能出现的最高协议层为网络层。由于网络层在功能和内部结构上的复杂性,本书将网络层分为两章进行讨论。第 7 章在讨论了网络层的基本技术之后,分别对两种面向连接的网络层协议(X.25 分组级协议和 B-ISDN 的控制平面中的网络层)进行了详细的探讨。尽管 X.25 网络已经难以适应现代高速多媒体信息传输的需要,但作为学习面向连接的网络层协议,仍不失为一个极佳的教材。以 ATM 技术为基础的 B-ISDN 是采用“带外信令”方式的典型网络,如果不讨论“信控平面”,就不能解释只有两层的 ATM 用户数据运载网络如何能够实现寻址和保证服务质量等方面的问题。该章占用了较大的篇幅对 ATM 信令平面进行讨论,旨在为读者提供有别于 Internet 的另一类网络的技术基础,也为读者理解目前受到广泛重视的多协议标签交换技术(MPLS)奠定基础。

Internet 以其简洁的 5 层结构和网络层采用简单无连接协议为特点独树一帜,并成为当今网络的主流体系结构。第 8 章以 Internet 的网络层为对象进行了深入的讨论。在对该网络

层的介绍中,为了便于讨论问题,笔者引入了3个子层的网络层内部体系结构。从下到上它们分别是:“数据链路层联系子层”、“IP 传输子层”和“控制与增强子层”。在“IP 传输子层”的讨论中,对两个版本的IP协议(IPv4和IPv6)进行了较为详细的讨论和比较。在“控制与增强子层”,对报文控制协议ICMP、各种路由协议(RIP、IGP和EGP)、典型的网络层安全协议以及与服务质量有关的协议(RSVP、Inteserv、Diffserv),进行了详略不同的介绍,分析了各种协议的特点与利弊。对“数据链路层联系子层”,在讨论了地址解析协议(ARP)之后,对其他地址解析协议(RARP和IARP)也进行了介绍,尽管后两种协议从概念上应当归属于“数据链路层的增强子层”。

第8章的另一个重点是网络互联技术。8.11节对从协议转换到现代的“层上层”(Over)方式(或称过渡(Ferrying)、封装(Encapsulation)、隧道(Tunneling))的各种互联技术,进行了详细的介绍与分析,希望使读者能够对互联技术发展的历史、各种技术产生的原因和应用场合有一个全面了解。Internet的简单网络管理协议(SNMP)从概念上应当归属于应用层协议的范畴,但由于它广泛地应用于通信子网设备上,不讨论它对通信子网的介绍仍不算完整,因此,在8.10节讨论了不同版本的SNMP协议。

在涉及Internet的不同章节内,笔者对目前Internet中采用就事论事(ad hoc)通过打补丁(Patching)来改进网络性能(安全、服务质量等)的方式,表达了谨慎的担忧。例如,为了解决邮件的安全问题,出现了“安全电子邮件协议”;为了解决3W的安全问题,又制订了“安全WEB协议”等等。而这类协议大都分别采用了许多OSI表示层协议的基本技术,这与OSI/RM中建立共用的表示层方式相比,未必是一种更高效的策略。类似打补丁情况在传送层和网络层也屡见不鲜。例如:为了解决服务质量问题而引入的资源预留协议(RSVP),实质上是在简单的无连接IP协议之上增加了面向连接的协议。另一个例证是:在新的IPv6之中强调了面向数据流(Stream)的处理功能,这也是为了弥补无连接IP协议在处理面向连续数据流方面的缺陷的举措。随着Internet的应用深入和层内增强型补丁的增加,从某种意义上讲,简单的5层体系结构的优势正在减弱。

有关本书,笔者最后还希望表达两个观点供读者参考:

① 分层体系结构的思想在网络技术的发展过程中有着重要的作用,必须牢固的理解这一思想。但是,体系结构也在随着时间的推移和应用的变化不断地发生变化,由不同层的网络体系结构发展为7层的OSI/RM,Internet的5层结构也已经成功地发展和应用达20多年。在以光纤为基础的高速网络的发展过程中,目前已出现了协议层次减少和层内子层增加的趋势,事实上,有关标准化机构已经着手研究3层的光网络体系结构。MPLS试图打破Internet中的3层用户平面的传统结构,笔者及其同事正在探讨单层用户平面的可行性,并已取得初步研究结果。

② 本书把“带内和带外信令技术”作为分析和理解网络体系结构的一个重要的概念,并在不同场合用它去分析各种网络。但是,在某些情况下二者间并没有严格的界限。Internet在传统的网络教材中都把它视为采用“带内信令”技术的网络,本书在总体上也采用了这一观点。但是,在第8章讨论与服务质量相关问题和MPLS时,笔者则完全采用了“带外信令”观点,把Internet网络层的“控制与增强子层”看做是Internet信令控制平面和管理平面的功能。这一观点在分析和讨论路由器和服务质量问题时,其优点显得十分明显。

3. 关于使用本书的建议

关于课程的安排问题,由于本书篇幅较大(约80万字),笔者在教学中感到即使作为一门研究生课程,内容偏多、分量也偏重。因此,教师宜根据授课对象和有关课程的设置目的做不同的剪裁。

对研究生教学,笔者建议之一是将本书作为研究生为全面学习通信子网和网络通信的基础性教材(需要50学时以上的授课时间),为进一步学习高层协议做准备;建议之二是将本书的第1、2、6章,再适当地补充第3章中相关内容,作为局域网的教材。这几部分加在一起,无论从内容的新颖程度、分量,还是内容的完整性,都可以作为一门独立课程的教材。在为有一定网络基础的研究生开设单独的局域网课程时,是一种可以考虑的选择。

作为本科生教材,笔者建议原则上可以参考上述思路进行剪裁,但在对实际协议的讲述方面宜做更多的剪裁。

对于工程技术人员,笔者的建议是在学习第1章至第3章的基础上,再根据工作的实际需要选择性地阅读相关章节。对于产品开发人员,本书只能起到基本技术和原理介绍的作用,要完成协议的硬/软件实现,还必须认真阅读相关的文本。书中的参考文献和参考文本可为读者提供一个选材的指南。

作 者

2003年12月

目 录

1 计算机网络概论	1
1.1 计算机网络发展历史回顾	1
1.2 计算机网络系统的概念	2
1.2.1 计算机网络的概念、建网目的与意义	2
1.2.2 计算机网络与分布式系统	4
1.3 计算机网络种类的划分	4
1.3.1 按覆盖的地理范围划分	5
1.3.2 按公用与专用划分	6
1.3.3 以 Internet 技术为基础的网络划分	6
1.3.4 按在大范围网络内的作用与地位划分	6
1.3.5 其他分类法	6
1.4 从网络通信实例看开放式系统互联参考模型	7
1.4.1 实例一：两台相同计算机在理想环境下直接互联	7
1.4.2 实例二：两台相同计算机在非理想环境下直接互联	8
1.4.3 实例三：两台或两台以上相同计算机间接互联	9
1.4.4 实例四：两台或两台以上相同计算机通过多个或多种网络互联	10
1.4.5 实例五：半/全双工问题与计算机系统的不可靠性带来的新问题	10
1.4.6 实例六：数据表示的差异、数据压缩与加密问题	11
1.4.7 实例七：通用性应用问题	12
1.5 开放式系统互联参考模型 (OSI/RM)	12
1.5.1 OSI/RM 概述	12
1.5.2 OSI/RM 要点	13
1.5.3 OSI/RM 的成功与失败小议	15
1.6 Internet	16
1.6.1 Internet 发展过程回顾	16
1.6.2 Internet 的体系结构	17
1.6.3 Internet 体系结构小议	18
1.7 信息传输网向信息网的过渡	19
1.7.1 网络的高速化	19
1.7.2 网络的综合化	21
1.7.3 网络的智能化	22
1.7.4 网络的易用性	24
1.8 小 结	24

2 典型的公用数据网	26
2.1 前 言	26
2.2 以 X.25 为基础的公用数据网	26
2.2.1 网络的体系结构	26
2.2.2 提供的服务特点	27
2.2.3 小 议	28
2.3 以 IP 为基础的公用数据网	28
2.3.1 网络的体系结构	28
2.3.2 提供的服务特点	30
2.3.3 小 议	30
2.4 以 ATM 为基础的网络	31
2.4.1 网络的体系结构	31
2.4.2 提供的服务特点	33
2.4.3 小 议	35
2.5 以帧中继 (Frame Relay) 为基础的公用数据网	35
2.5.1 网络的体系结构	35
2.5.2 提供的服务特点	36
2.5.3 小 议	36
2.6 窄带综合业务数字网 (N-ISDN)	37
2.6.1 网络的体系结构	37
2.6.2 网络与用户间的服务参考点	39
2.6.3 提供的服务特点	40
2.6.4 小 议	41
2.7 纯物理层的公用通信网络	41
2.7.1 电话交换网 PSTN	42
2.7.2 数字数据网 DDN	43
2.7.3 卫星通信网	45
2.7.4 光纤与同轴电缆混合网 HFC	48
2.7.5 小 议	49
2.8 纯物理层的公用通信网络 (续)	50
2.8.1 准同步数字体系结构 PDH	50
2.8.2 同步数字体系结构 SDH	52
2.9 无线通信网	61
2.9.1 移动通信技术	61
2.9.2 移动通信网的协议层次结构	64
2.10 国家信息基础设施 NII 与信息港	65
2.10.1 国家与地区信息基础设施的内涵与特点	66
2.10.2 信息港基本构成	66
2.10.3 信息港建设的基本技术	68
2.11 未来公用数字网络平台和信息网络体系结构	71
2.11.1 全球信息基础设施 GII 模型	72
2.11.2 开放数据网络 ODN 模型	74
2.11.3 未来信息网络体系结构的参考模型雏形	75

2.12 小 结	76
3 通信介质网与数字通信技术	78
3.1 前 言	78
3.2 物理通信介质网	79
3.2.1 概 述	79
3.2.2 电话用户线 (Subscriber Line)	80
3.2.3 结构化布线系统的双绞线	81
3.2.4 同轴电缆	84
3.2.5 光 纤	85
3.3 数字通信技术基础	95
3.3.1 概 述	95
3.3.2 信 道	96
3.3.3 噪声与干扰	98
3.3.4 信道容量	99
3.3.5 带宽、吞吐率与信道容量	100
3.4 数字基带传输技术	102
3.4.1 概 述	102
3.4.2 基带信号与基带传输	102
3.4.3 数字基带信号的频谱特性	103
3.5 调制传输技术	105
3.5.1 概 述	105
3.5.2 数字调幅技术——振幅键控 ASK (Amplitude Shift Keying)	109
3.5.3 数字调频技术——频移键控 FSK (Frequency Shift Keying)	111
3.5.4 数字调相技术——相移键控 PSK (Phase Shift Keying)	113
3.5.5 典型数字调制技术主要性能参数比较	115
3.6 数字基带传输信号的波形、编码与码型	117
3.6.1 数字基带传输信号的波形典型特征	117
3.6.2 编 码	119
3.6.3 码 型	124
3.7 信道复用技术	126
3.7.1 频分复用技术 (FDM)	126
3.7.2 时分复用技术 (TDM)	127
3.7.3 波分复用技术 (WDM)	128
3.7.4 骨干通信网络传输能力升级方案	134
3.8 小 结	134
4 广 (城) 域网物理层协议与接口	137
4.1 前 言	137
4.2 中、低速物理层 DTE/DCE 接口	138
4.2.1 CCITT 的物理层连接模型	139
4.2.2 常用的 DTE/DCE 接口信号电路的规定	140

4.2.3 EIA RS-232-C 与 RS-449 接口	143
4.3 V 系列调制解调器与相关通信技术	146
4.3.1 调制解调器技术的发展	146
4.3.2 低速 V 系列调制解调器	150
4.3.3 V.34 调制解调器	155
4.3.4 V.90 调制解调器	156
4.3.5 利用调制解调器进行数据通信的过程	157
4.4 数字用户线接入技术 (XDSL)	162
4.4.1 ADSL	163
4.4.2 ADSL 的变化形式	174
4.4.3 高速 DSL (HDSL, 即 High-speed DSL)	176
4.4.4 甚高速 DSL (VDSL, 即 Very-high speed DSL)	180
4.4.5 其他 DSL 技术与各种 DSL 技术简单比较	182
4.4.6 XDSL 技术小议	184
4.5 以同轴电缆为基础的高速接入技术	184
4.5.1 HFC 技术	184
4.5.2 以电缆调制解调器 (Cable Modem) 为基础的网络标准	187
4.5.3 三种主要标准简单比较	192
4.5.4 Cable Modem 技术小议	192
4.6 ATM 物理层技术	193
4.6.1 ATM 物理层内部结构	194
4.6.2 PMD 子层	194
4.6.3 TC 子层	196
4.7 小 结	196
5 广 (城) 域网数据链路层协议	199
5.1 前 言	199
5.2 数据链路层基本技术	200
5.2.1 数据链路层服务	200
5.2.2 数据链路层协议分类	202
5.2.3 数据链路层的基本功能	203
5.2.4 成 帧	203
5.2.5 确认与流控	206
5.2.6 检错与纠错	208
5.2.7 多路复用/解复用与分流/合流	211
5.2.8 链路控制管理	211
5.3 高级数据链路控制 (HDLC) 协议及 X.25 数据链路协议	212
5.3.1 高级数据链路协议 (HDLC, 即 High-level Data Link Control)	213
5.3.2 X.25 数据链路层协议与 HDLC 的异同	215
5.3.3 链路的建立与拆除	216
5.3.4 信息的传送	216
5.3.5 异常处理	217
5.3.6 多链路协议	218

5.4 帧中继技术的数据链路层协议	219
5.4.1 背景与特点	219
5.4.2 帧中继网的协议层次结构与水平方向的互联结构	222
5.4.3 帧中继协议数据单元 (PDU) 格式	223
5.4.4 帧中继 SVC 连接建立过程	224
5.4.5 帧中继网拥塞控制和服务质量控制	225
5.4.6 与帧中继相关的标准	226
5.5 点对点协议 (PPP) 和串行线 IP 协议 (SLIP)	227
5.5.1 点到点协议 PPP	227
5.5.2 PPP 的帧格式	228
5.5.3 PPP 链路层的运作过程	229
5.5.4 PPP 的链路控制协议 LCP	230
5.5.5 网络控制协议 NCP	232
5.5.6 串行线 IP 协议 (SLIP)	233
5.6 B-ISDN 的数据链路层协议	234
5.6.1 概 述	234
5.6.2 ATM 信元格式	235
5.6.3 VPC 和 VCC	237
5.6.4 ATM 信元层服务	238
5.7 调制解调器之间的数据链路层协议	238
5.7.1 既成事实的工业标准 MNP	238
5.7.2 ITU 的调制解调器使用的链路访问协议 (LAPM)	239
5.8 小 结	241
6 局域网技术	244
6.1 前 言	244
6.2 局域网的体系结构与标准概述	245
6.2.1 局域网的体系结构	245
6.2.2 局域网标准概述	246
6.3 IEEE 802.3 协议集	246
6.4 IEEE 802.3 中十兆局域网协议	247
6.4.1 CSMA/CD 的工作原理	248
6.4.2 IEEE 802.3 的 10 Mbps MAC 子层	249
6.4.3 LLC 子层及与 MAC 子层间接口	250
6.4.4 物理层信令子层 PLS	253
6.4.5 介质接入子层 MAU	254
6.5 100 Mbps 的高速以太网	258
6.5.1 100 BASE-T 与 10 BASE-T	258
6.5.2 适配子层 (RS) 和介质无关接口 (MII)	260
6.5.3 简化型 MII	263
6.5.4 不同介质的百兆以太网	264
6.6 Gbps 的超高速以太网	266
6.6.1 百兆和千兆以太网协议的主要区别	267

6.6.2 半双工千兆以太网 MAC 运作	268
6.6.3 千兆以太网介质无关接口 GMII	269
6.6.4 物理编码子层 PCS (Physical Coding Sub-layer)	271
6.6.5 物理接入子层 PMA	274
6.6.6 物理介质有关子层 PMD	275
6.7 全双工以太网技术	281
6.7.1 概 述	281
6.7.2 MAC 子层的修改	282
6.7.3 流量控制问题	282
6.8 以太网的自动协商功能	284
6.8.1 10 BASE-T 与 100 BASE-TX 的自动协商	284
6.8.2 千兆以太网的自动协商	287
6.9 中继、桥接与交换	288
6.9.1 概 述	288
6.9.2 中继器 (Repeater)	290
6.9.3 桥接器 (Bridge)	293
6.9.4 二层交换机	294
6.9.5 三层交换机	300
6.9.6 交换机的交换结构	301
6.10 十千兆以太网	303
6.10.1 十千兆以太网进展概述	303
6.10.2 以太网内部协议层次的变化	305
6.10.3 十千兆以太网技术决策特点	305
6.10.4 十千兆以太网内部协议层次结构	307
6.10.5 物理层的上部部件	309
6.10.6 10 GE 物理层的下部部件	311
6.11 类以太网技术——HomePNA	318
6.11.1 HomePNA 概述	318
6.11.2 HomePNA 物理层技术	319
6.11.3 HomePNA 的数据链路层技术	321
6.11.4 展 望	322
6.12 其他局域网技术	322
6.12.1 令牌总线局域网 (IEEE 803.4)	322
6.12.2 令牌环局域网 (IEEE 802.5)	326
6.12.3 以光纤数字接口 FDDI 为基础的局域网 (ISO IS 931)	331
6.13 小 结	337
7 网络层 (一)	343
7.1 概 述	343
7.2 网络层的基本功能	344
7.2.1 网络地址	345
7.2.2 网络中继与选径	348
7.2.3 网络拥塞控制 (Congestion Control)	349