

计算机通信 与网络技术 基础教程

吴娟 彭丽娟 编
彭克发 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

计算机通信 与网络技术 基础教程

吴 娟 彭丽娟 编
彭克发 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书内容全面、取材新颖、理论联系实际,充分反映了近年来的热门技术和先进技术,实用性强。全书共分为9章,主要内容包括计算机通信与网络技术概论、计算机通信技术基础、计算机网络体系结构及协议、局域网技术、广域网技术、因特网技术、无线网络技术、计算机网络安全与管理以及其他计算机网络实用技术等。

本书可作为高职高专院校电子信息类、通信工程类、计算机网络类专业教材,也适合非相关专业读者全面地了解和认识计算机通信与网络技术使用,还可供相关技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信与网络技术基础教程/吴娟,彭丽娟编. —北京:中国电力出版社,2013.9

ISBN 978-7-5123-4502-7

I. ①计… II. ①吴…②彭… III. ①计算机通信-高等职业教育-教材②计算机网络-高等职业教育-教材 IV. ①TN919②TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第116777号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:杨淑玲 责任印制:蔺义舟 责任校对:李楠

汇鑫印务有限公司印刷·各地新华书店经售

2013年9月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·14印张·337千字

定价:32.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

随着信息技术的飞速发展,计算机通信与网络技术相互融合,其应用领域也越来越宽。电子商务、办公自动化、企业管理等各个领域都与计算机网络技术息息相关,同时,这些信息的传播与交流,又依靠各种通信方式与网络技术得以实现。因此,学习和掌握计算机通信与网络技术是未来信息工作者的迫切需求。为了让广大读者全面地了解计算机通信与网络的基本概念和基础知识,本着内容全面、重在实践的原则,我们编写了本教材。

通过对本教材的学习,一方面读者可以全面地了解计算机通信与网络技术的基本概念和基础知识,为今后进一步深入学习有关课程奠定基础,另一方面,读者可以比较全面地了解建立在现代计算机通信与网络技术基础上的现代信息技术的各个方面。本教材的参考学时为48~64学时,教师可根据教学需要对内容进行合理取舍。

本书的特点是全面、实用、通俗。

“全面”是指它所介绍的内容涉及计算机通信与网络技术各方面的基础知识,从计算机通信的基本概念、计算机网络体系结构与协议、各种计算机网络技术到计算机网络新兴实用技术,关于计算机通信与网络技术方面的知识都可以在本书中找到答案。

“实用”突出在内容以“够用”为原则,基础理论知识以应用为目的,避开数学公式的分析推导,深入浅出地讲清原理。因而,本书既可作为高职高专院校通信工程类、电子信息类、计算机网络类专业教材,也适合非相关专业读者全面了解和认识计算机通信与网络技术使用,还可供相关技术人员阅读和参考,实用性较强。

“通俗”表现在书中所举实例都贴近生活,目录的标题也尽量通俗易懂,从而提高读者的学习兴趣。同时,书中所涉及的近年来的热门先进技术都是结合实际生活以通俗形象的语言进行阐述。本书编写时注重内容覆盖面广,突出实用性。

本书共分9章。第1章简要介绍了计算机通信与网络技术的基本概念;第2章深入介绍了计算机通信技术的相关知识,包括计算机通信的基本概念、计算机数据通信、现代通信技术和计算机通信协议;第3章介绍了计算机网络体系结构及协议;第4~7章介绍了各种计算机网络技术,包括局域网技术、广域网技术、因特网技术以及无线网络技术;第8章介绍了计算机网络安全与管理;第9章介绍了其他计算机网络实用技术。

本书第1~4章由重庆电子工程职业学院吴娟老师编写,第5~9章由重庆电子工程职业学院彭丽娟老师编写。全书由重庆电子工程职业学院彭克发教授主审。

编者在编写本书过程中参考了许多相关文献和书籍,在此对提供相关文献和书籍的所有作者一并致以诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编 者

2012年12月

目 录

前言

第1章 计算机通信与网络技术概论 1

1.1 计算机通信技术 1

1.1.1 计算机通信的形成 1

1.1.2 计算机通信技术的概念 1

1.2 计算机网络技术 2

1.2.1 计算机网络的概念和功能 2

1.2.2 计算机网络的分类 2

1.2.3 计算机网络的主要性能指标 4

1.3 计算机通信与网络技术的发展 7

1.3.1 计算机通信网络的发展历程 7

1.3.2 我们的生活离不开计算机 通信网络 10

1.3.3 计算机通信网络的发展趋势 13

本章小结 14

习题 14

第2章 计算机通信技术基础 16

2.1 计算机通信的基本概念 16

2.1.1 信息、消息、信号和数据 16

2.1.2 模拟信号与数字信号 16

2.1.3 模拟通信和数字通信 17

2.2 计算机数据通信 20

2.2.1 什么是计算机数据通信 20

2.2.2 数据传输模式 23

2.2.3 数据交换技术 26

2.3 现代通信技术 33

2.3.1 模拟信号数字化 33

2.3.2 数字信号基带传输 35

2.3.3 数字信号的调制技术 38

2.3.4 复用技术 40

2.4 计算机通信协议 41

2.4.1 计算机硬件接口通信协议 42

2.4.2 计算机网络通信协议 46

本章小结 48

习题 48

第3章 计算机网络体系结构及协议 51

3.1 计算机网络通信 51

3.2 计算机网络体系结构及拓扑结构 54

3.2.1 计算机网络体系结构 54

3.2.2 计算机网络拓扑结构 56

3.3 OSI/RM 基本参考模型 60

3.3.1 OSI/RM 基本参考 模型的概念 60

3.3.2 OSI/RM 基本参考模型 各层功能概述 61

3.3.3 OSI/RM 基本参考模型的 数据传输 62

3.4 TCP/IP 协议簇 65

3.4.1 什么是 TCP/IP 协议 65

3.4.2 TCP/IP 协议模型各层功能及 相关协议 66

3.4.3 TCP/IP 协议模型的数据传输 71

3.5 OSI/RM 基本参考模型与 TCP/IP 协议模型的比较 71

本章小结 72

习题 72

第4章 局域网技术 74

4.1 局域网 74

4.1.1 局域网的特点及分类 74

4.1.2 局域网的体系结构和 协议标准 75

4.2 介质访问控制技术 77

4.2.1 带冲突检测的载波监听多路 访问 CSMA/CD (IEEE 802.3 标准) 78

4.2.2 令牌环 (Token Ring) 介质访问 控制 (IEEE 802.5 标准) 80

4.2.3 令牌总线 (Token Bus) 介质访问控制 (IEEE 802.4 标准)	81	5.3.2 实现广域网优化的关键技术	114
4.3 以太网技术	82	本章小结	115
4.3.1 以太网与 IEEE 802.3 标准	82	习题	116
4.3.2 10Mbit/s 传统以太网 (IEEE 802.3 标准)	82	第 6 章 因特网技术	118
4.3.3 100Mbit/s 以太网	85	6.1 因特网的概念	118
4.3.4 交换式以太网	87	6.2 因特网接入技术	119
4.3.5 速率高于 1Gbit/s 的以太网	90	6.2.1 接入环境	119
4.4 其他局域网类型	92	6.2.2 调制解调接入	119
4.4.1 令牌环网 (Token Ring, IEEE 802.5 标准)	92	6.2.3 ISDN 接入	121
4.4.2 FDDI 网 (IEEE 802.7 标准)	92	6.2.4 ADSL 接入	124
4.4.3 高性能并行接口 (HIPPI)	93	6.2.5 高速局域网接入	126
4.4.4 光纤通道	93	6.3 无处不在的因特网	127
4.5 虚拟局域网 VLAN (IEEE 802.1Q 标准)	94	6.3.1 万维网	127
4.5.1 虚拟局域网的概念	94	6.3.2 文件传输 FTP	129
4.5.2 虚拟局域网的组建	94	6.3.3 网络新闻	130
4.6 局域网常用设备及部件	96	6.3.4 电子邮件	132
4.6.1 网卡 NIC	96	本章小结	132
4.6.2 集线器 Hub	97	习题	132
4.6.3 网桥 Bridge	98	第 7 章 无线网络技术	135
4.6.4 以太网交换机	99	7.1 无线网络的概念	135
本章小结	100	7.2 Wi-Fi 与 IEEE 802.11 的关系	135
习题	101	7.2.1 IEEE 802.11	135
第 5 章 广域网技术	103	7.2.2 Wi-Fi	137
5.1 广域网基本知识	103	7.3 WAPI 标准	137
5.1.1 广域网的概念	103	7.3.1 WAI 鉴别及密钥管理	138
5.1.2 广域网的特点	103	7.3.2 WPI 数据传输保密	138
5.1.3 广域网的类型	104	7.3.3 WAPI 的主要特点	138
5.1.4 广域网的几个专业术语	104	7.4 无线网络接入技术	139
5.2 广域网的传输技术	104	7.4.1 无线接入的概念	139
5.2.1 X.25 分组交换协议	104	7.4.2 无线网络接入技术分类	139
5.2.2 DDN	110	7.5 无线组网设备	147
5.2.3 帧中继	112	7.5.1 无线网卡	147
5.3 怎样做到广域网的优化	114	7.5.2 无线接入器	148
5.3.1 目前广域网的局限性	114	7.5.3 无线交换机	148
		7.5.4 无线路由器	149
		7.5.5 无线网桥	150
		7.5.6 无线网关	151
		7.5.7 无线调制解调器	152

本章小结	152	9.1.2 ATM 的特点	176
习题	152	9.2 内联网	176
第 8 章 计算机网络安全与管理	155	9.2.1 内联网提供的服务	177
8.1 计算机网络安全	155	9.2.2 内联网的特点	177
8.1.1 信息安全与网络		9.3 城域网	177
安全的关系	155	9.3.1 城域网的构成	178
8.1.2 安全威胁的概念	156	9.3.2 城域网的构建方案	178
8.2 网络管理	166	9.4 常用的网络操作系统	179
8.2.1 网络管理的概念	166	9.4.1 Windows 系列	179
8.2.2 网络管理的实现	166	9.4.2 NetWare	181
本章小结	172	9.4.3 UNIX	192
习题	172	9.4.4 LINUX	197
第 9 章 其他计算机网络实用技术	174	本章小结	213
9.1 异步传输	174	习题	213
9.1.1 ATM 工作原理	174	参考文献	215

第1章 计算机通信与网络技术概论

通过本章的学习，你可以具备以下能力：

1. 明确组成计算机通信系统的三个基本要素。
2. 理解计算机网络的概念和功能。
3. 知道计算机网络按照覆盖范围和传输介质的分类情况。
4. 理解衡量计算机网络的三个性能指标参数。
5. 认清计算机网络和通信技术的联系。
6. 了解计算机通信网络的发展状况和发展趋势。
7. 了解当今最常用的几类通信工具。

1.1 计算机通信技术

1.1.1 计算机通信的形成

在计算机产生之初，人们只是用它来代替计算尺或电子计算器做一些科学的计算，那个时候计算机仅仅是作为计算的工具。但是随着人们需求的日益加大，他们希望可以把需要处理的数据传给远程的计算机来处理，然后再通过通信线路送传回来。这一愿望使计算机技术和通信技术结合起来，形成了新的通信方式——计算机通信。

1.1.2 计算机通信技术的概念

计算机通信技术是建立在数据通信基础之上的一种计算机与计算机之间或计算机与终端设备之间进行信息传递的通信技术。

一个计算机通信系统的基本要素有：

- (1) 消息的发送者（发送设备）。
- (2) 传输消息的媒介。
- (3) 消息的接收者（接收设备）。

只有具备以上三个基本要素，一个计算机通信系统才能建立，计算机与计算机之间或计算机与终端设备之间才可以实现信息的传递。例如甲用户向乙用户发送电子邮件，在这个通信过程中，发送设备也就是电子邮件的发送者，是甲用户的个人电脑；接收设备则是电子邮件的接收者，是乙用户的个人电脑；两个电脑间的连接线路和连接方式则是传输电子邮件的媒介。

1.2 计算机网络技术

1.2.1 计算机网络的概念和功能

1. 计算机网络的概念

计算机网络是现代通信技术与计算机技术相结合的产物。所谓计算机网络，就是把分布在不同地理区域的计算机与专门的外部设备用通信线路互联成一个规模大、功能强的网络系统，从而使众多的计算机可以方便地互相传递信息，共享硬件、软件、数据信息等资源。通俗地说，网络就是通过电缆、电话线、无线通信等互联的计算机的集合。

2. 计算机网络的功能

计算机网络有很多用处，其主要功能有数据通信、资源共享、分布处理、提高兼容性和安全性。

(1) 数据通信。数据通信是计算机网络最基本的功能，它用来快速传递计算机与终端、计算机与计算机之间的各种信息，包括文字信件、新闻消息、咨询信息、图片资料、报纸版面等。

(2) 资源共享。计算机网络的资源共享主要表现在硬件资源共享、软件资源共享和用户间信息交换三个方面。

1) 硬件资源共享。可以在全网范围内提供对处理资源、存储资源、输入输出资源等昂贵设备的共享，例如具有特殊功能的处理部件、高分辨率的激光打印机、大型绘图仪、巨型计算机以及大容量的外部存储器等。

2) 软件资源共享。可以让互联网上的用户远程访问各类大型数据库，可以通过网络下载某些软件到本地计算机上使用，可以在网络环境下访问一些安装在服务器上的公用网络软件，可以通过网络登录到远程计算机上，使用该计算机上的软件。

3) 用户间信息交换。可以让计算机网络为分布在各地的用户提供强有力的通信手段。用户可以通过计算机网络传送电子邮件、发布新闻消息和进行电子商务活动。

(3) 分布处理。当某台计算机负担过重或该计算机正在处理某项工作时，网络可将新任务转交给空闲的计算机来完成，这样处理能均衡各计算机的负载，提高处理问题的实时性。对大型综合性问题，可将问题各部分交给不同的计算机分头处理，充分利用网络资源，扩大计算机的处理能力，即增强实用性。对解决复杂问题来讲，多台计算机联合使用并构成高性能的计算机体系，这种协同工作、并行处理计算机网络要比单独购置高性能的大型计算机便宜得多。

(4) 提高兼容性和安全性。网络在建设一般都有对各种类型计算机及不同厂家设备的网络接口，从而使网络可以适应技术的发展，同时也可以兼容多种网络设备和软件，不断地扩展系统性能和提高处理能力。同时利用软件的或物理的手段进行权限限制的服务器，也可达到数据和程序的安全性目的，这在很大程度上保证了网络的安全性。

1.2.2 计算机网络的分类

从不同角度可以对计算机网络进行分类。这里主要讨论以下两种：根据计算机网络覆盖

的地理范围与规模分类以及根据网络的传输介质分类。

1. 按计算机网络覆盖的地理范围与规模分类

(1) 局域网。局域网是指覆盖范围很小的局部区域的计算机网络，如图 1-1 所示。比如一栋建筑物甚至一个办公室中，若干计算机和其他设备所组成的网络。局域网覆盖的地理范围不超过 10km，往往只覆盖一个校园、一个企业或多座楼宇内的计算机，易于建立、维护与扩展。

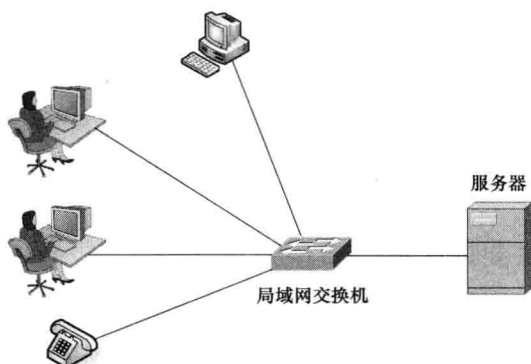


图 1-1 由局域网交换机构成的小型局域网 LAN

(2) 城域网。城域网的规模和覆盖范围介于广域网与局域网之间，可以满足几十千米范围内的大量企业、机关、公司的多个局域网互联的需求，实现大量用户之间的数据、语音、图形与视频等多种信息的传输功能。

(3) 广域网。广域网是覆盖范围很大的计算机网络，也称为远程网，其覆盖的地理范围从几十千米到几千千米，可以覆盖一个国家、地区或横跨几个洲，形成国际性的远程网络，可以将分布在不同地区的计算机系统互联起来，达到资源共享的目的。多个局域网 LAN 可以通过路由器连接到广域网 WAN，如图 1-2 所示。

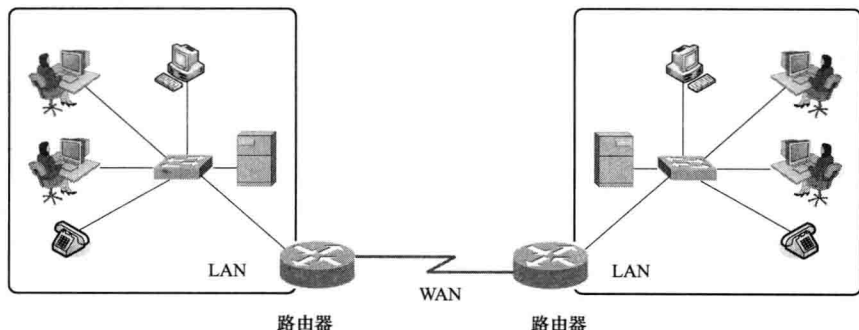


图 1-2 多个局域网 LAN 通过路由器连接到广域网 WAN

2. 按计算机网络的传输介质分类

(1) 有线网络 [图 1-3 (a)]。有线网络指采用同轴电缆、双绞线、光纤等有线介质连接计算机进行数据传输的网络。

(2) 无线网络 [图 1-3 (b)]。无线网络采用微波、红外线、无线电波等电磁波作为传输

介质的计算机网络。由于其联网方式相当灵活，是一种很有前途的联网方式，在用户端的联网方式中广泛采用。

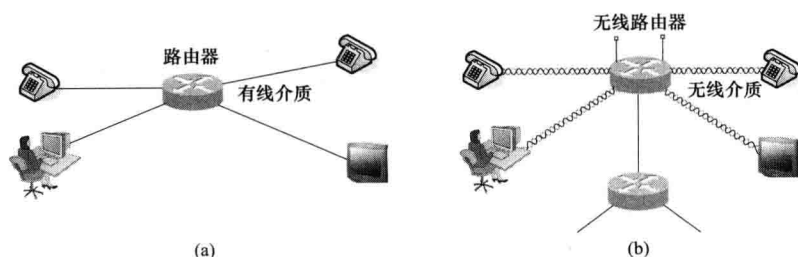


图 1-3 按传输介质分类的有线网络和无线网络

(a) 有线网络; (b) 无线网络

1.2.3 计算机网络的主要性能指标

计算机网络的主要性能指标有 3 个，即带宽、时延和数据传输速率。

1. 带宽

(1) 带宽的概念。带宽是指信号具有的频带宽度，即信号占据的频率范围，单位是 Hz。在计算机数字通信系统中，带宽是信道所能传送的最大信息速率的同义词，故其单位常为 bit/s (bit/s, 比特每秒)。这里需要说明一下，单位 $\text{bit/s} = \text{b/s} = \text{bps}$ ，中文称作比特每秒，或者位每秒。

那么“带宽”的单位何时用赫兹 (Hz) 表示，何时用 bit/s 表示？

早期的电子通信系统都是模拟通信系统。当系统的变换域研究开始后，人们为了能够在频域定义系统的传递性能，便引进了“带宽”的概念。当输入的信号频率高或低到一定程度，使得系统的输出功率成为输入功率的一半时（即 -3dB），最高频率和最低频率间的差值就代表了系统的通频带宽，其单位为赫兹 (Hz)。比如在传统的固定电话系统中，从固定电话机终端到交换中心的双绞线路系统，所能提供的通信带宽可以到 2MHz 以上，其中我们的语音通信只使用了 300~3400Hz 的频段，使用的通信带宽约为 3kHz。

数字通信系统中“带宽”的含义完全不同于模拟系统，它通常是指数字系统中数据的最大传输速率，其表示单位为 bit/s。带宽越大，表示单位时间内的数字信息流量也越大；反之，则越小。衡量二进制码流的基本单位称为“比特”，若传输速率达到 64kbit/s，就表示二进制信息的流量是每秒 64 000bit。

不同的数字业务其提供或需求的带宽也不一样。如前面所说在固定电话网中的局与局之间的中继接口所提供的带宽为 64kbit/s；ISDN 网中的用户网络侧接口 (UNI) 中的 U 接口 (2B1Q 码) 带宽为 80KB/s (160kbit/s)；局间 E1 接口所提供的带宽为 2Mbit/s；同步数字传输网 (SDH) 中的 STM-1 信号速率为 155Mbit/s 等。有时对于某一种业务很难给出其带宽的确切值，因为数字信号的传输还与业务的带宽需求、传输质量、传输时间等因素有关。对于数字通信系统来说，一般情况下系统所提供的带宽越宽，其业务的实时性也越好。

(2) 传输介质的通信带宽。信号是通过相应的信道来发送和接收的。信道可以是物理的信道，也可以是逻辑的信道。物理信道是由传输介质和通信设备构成，逻辑信道是在物理信

道基础上建立的两个节点间的通信链路。其中,物理信道中的传输介质是通信网络中最低层、最基本和最重要的资源。传输介质从大的方面可分为有线介质和无线介质。常见的有线介质有:

1) 光缆(光纤)。其传输带宽为几百兆赫兹到几十太赫兹($1\text{THz}=10^{12}\text{Hz}$)。因为其传输带宽非常大,受外界电磁干扰小,所以在数字通信的高速传送网中最为常用。

2) 同轴电缆。其传输带宽为几十兆赫兹到 1GHz (RG8、RG58、RG59、RG62 等),如在 CATV 网中用户终端到光节点间的部分为 75Ω 的同轴电缆 (RG59)。

3) 双绞线。其传输带宽为几兆赫兹到几十兆赫兹 (22~26AWG, 1~5 类)。

无线介质主要是指无线电波,其中能够使用的频段也非常宽,可使用的范围为 $3\text{kHz}\sim 3000\text{GHz}$ 。当前只划分到了 $9\text{kHz}\sim 400\text{GHz}$ 的范围,而目前使用的频段仅到几十吉赫兹。

总之,在模拟通信系统或传输介质中,所说的“带宽”是指信号频率的通频范围,单位为“赫兹”(Hz)。而数字通信系统中“带宽”,理论是指传输信道的信道容量,即信道中传递信息的最大值,单位为“比特/秒”(bit/s)。由于数字通信系统中的信道多指逻辑信道,而信道容量又是理论上的最大值(不可能达到),所以平时我们使用的“带宽”一词,是指信道中数据实际传输的最高速率。

(3) 信道容量与香农定理。在给定通频带宽(Hz)的物理信道上,到底可以有多高的数据传输速率(bit/s)来可靠传送信息?这也就是信道容量问题,早在半个多世纪之前,贝尔试验室的香农博士就解答了这个问题。所谓信道容量是指信道无差错传输信息的最大信息速率,记为 C 。

香农定理指出:在噪声与信号独立的高斯白噪声信道中,假设信号的功率为 S ,噪声的功率为 N ,信道的通频带宽为 W (Hz),则该信道容量 C 为

$$C=W\log_2(1+S/N) \text{ (bit/s)} \quad (1-1)$$

这就是香农信道容量公式。从式(1-1)中我们可以看出,在特定带宽(W)和特定信噪比(S/N)的信道中传送信息的速率是一定的。由信道容量公式我们还可以得到:

1) 提高信号功率 S 和噪声功率 N 之比,可以增加信道容量。

2) 当信道中噪声功率 N 趋于零时,信道容量趋向于无穷,这就是说无干扰信道的信道容量可以无穷大。

3) 信道容量 C 一定时,带宽 W 可以与信噪比 S/N 之间互换,即减小带宽,同时增大信噪比,可以维持原来的信道容量 C 。

4) 信噪比一定时,增加带宽 W 可以增加信道容量。但噪声为高斯白噪声时(实际的通信系统噪声大多为高斯白噪),增加带宽会同时造成信噪比下降,因此无限增大带宽也只能对应有有限信道容量,该极限容量为

$$C=1.44S/n_0 \text{ (当 } W \text{ 趋于无穷时)}$$

其中, n_0 为噪声功率谱密度, $n_0=N/W$ 。

香农定理的伟大之处在于它的理论指导意义。香农公式给出频带利用的理论极限值,人在围绕着如何提高频带利用率这一目标展开了大量的研究,取得了辉煌的成果。比如航天技术中的宇际通信,由航天器发回的信号往往掩埋在比它高几十分的宇宙噪声之中,虽然信号非常微弱,但香农公式指出信噪比和带宽可以互换,只要信噪比在理论计算的范围内,我们总可以找到一种方法将有用信号恢复出来。另外,如移动通信中的多址接入技术(FDMA、TDMA、CDMA、SDMA 以及 OFDM),还有各种信源编码、信道传输编码、纠错编码技术

等,都得益于香农定理。在 XDSL 传送系统中,人们正是选择了合理的信道编码技术(DMT 和 CAP 编码调制方式),可以保证信息在有限的通频带宽内可靠的传递,从而实现数据的高速传输,满足人们宽带上网的需求。

2. 时延

时延也是衡量计算机网络通信质量的重要参数,它是指一个报文或分组从一个网络(或一条链路)的一端传送到另一端所需要的时间,包括了发送时延、传播时延、处理时延和排队时延,数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和。一般情况下,发送时延与传播时延是我们主要考虑的。对于报文长度较大的情况,发送时延是主要矛盾;报文长度较小的情况,传播时延是主要矛盾。

(1) 发送时延。发送时延是指结点在发送数据时使数据块从节点进入到传输媒体所需的时间,也就是从数据块的第一个比特开始发送算起,到最后一个比特发送完毕所需的时间。发送时延又称为传输时延,它的计算公式为

$$\text{发送时延} = \text{数据块长度} / \text{信道带宽}$$

信道带宽就是前面我们讲到的系统带宽,它是数据在信道上的最大传输速率。

(2) 传播时延。传播时延等于两台路由器之间的距离除以传播速率,它的计算公式为

$$\text{传播时延} = \text{两台路由器之间的距离} / \text{传播速率} \quad (\text{传播时延在毫秒级})$$

(3) 处理时延。处理时延是交换节点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。节点缓存队列中分组排队所经历的时延是处理时延中的重要组成部分。处理时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。

(4) 排队时延。在队列中,当分组在链路上等待传输时,它经受排队时延。一个特定分组的排队时延将取决于先期到达的、正在排队等待向链路传输的分组的数量。如果该队列是空的,并且当前没有其他分组在传输,则该分组的排队时延为 0。如果流量很大,并且许多其他分组也在等待传输,那么该排队时延将很大。到达组的分组数量是到达该队列的流量强度和性质的函数。实际的排队时延通常在毫秒到微秒级。

3. 数据传输速率

(1) 传信率。数据传输速率分为传信率和传码率。在计算机通信中,通常是指传信率,又称比特率或信息传输速率,即每秒传送的二进制位数,单位为 bit/s。

常用的信息传输速率单位有: kbit/s、Mbit/s、Gbit/s 与 Tbit/s,目前最快的以太网理论传输速率(也就是所说的“带宽”)为 100Gbit/s,其中:

$$1\text{kbit/s} = 10^3\text{bit/s}$$

$$1\text{Mbit/s} = 10^6\text{bit/s}$$

$$1\text{Gbit/s} = 10^9\text{bit/s}$$

$$1\text{Tbit/s} = 10^{12}\text{bit/s}$$

(2) 传码率。码元传输速率简称传码率,又称符号速率。它表示单位时间内传输码元的数目,单位是波特(Baud),记为 B。这是为了纪念电报码的发明者法国人波特(Baudot),故码元传输速率也称为波特率。

若每个码元所含的信息量为 1 比特,则波特率等于比特率,其计算公式为

$$B = 1/T \quad (\text{Baud})$$

式中, T 为信号码元的宽度,单位为 s。

(3) 传信率和传码率之间的转换。传信率用 R_b 表示, 传码率用 R_B 表示, 它们之间的关系是

$$R_b = R_B \log_2 N \text{ (bit/s)}, \text{ 或 } R_B = R_b / \log_2 N \text{ (Baud)}$$

其中, N 是系统的进制数。例如, 一个十六进制系统, 其传码率为 100 波特 (Baud), 则传信率为:

$$\begin{aligned} R_b &= R_B \log_2 N \\ &= 100 \times \log_2^{16} \\ &= 100 \times 4 \\ &= 400 \text{ (bit/s)} \end{aligned}$$

在计算机中, 一个符号的含义为高低电平, 分别代表逻辑“1”和逻辑“0”, 即系统的进制数 $N=2$, 则计算机通信中比特率和波特率关系为: $R_b = R_B \log_2 N = R_B \log_2^2 = R_B$, 这表明每个符号所含的信息量刚好为 1 比特, 故在计算机通信中, 常将“比特率”称为“波特率”。

1.3 计算机通信与网络技术的发展

1.3.1 计算机通信网络的发展历程

从 1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 诞生到现在的 Internet 空前发展, 计算机通信与网络经历了半个多世纪的发展, 其演变过程大致可概括为四个阶段。

第一阶段: 20 世纪 50 年代——面向终端的计算机网络。

第二阶段: 20 世纪 60 年代——数据通信网络。

第三阶段: 20 世纪 70 年代——开放的标准化网络。

第四阶段: 20 世纪 90 年代——Internet 时代。

1. 面向终端的计算机网络

在这种计算机网络中, 是多个终端共享一台主机系统的资源, 因此把它称为面向终端的计算机网络。这种计算机网络的典型特点是共享主机, 主从关系明显。这个阶段的计算机网络主要代表有两种: 多用户系统 (图 1-4) 和面向终端的远程联机系统 (图 1-5)。多用户系统 (并不能算是真正意义上的网络系统) 是将一台中央主计算机连接到大量的地理位置处于分散的终端。显然, 在多用户系统中, 中央主计算机负担较重, 因为它既要进行数据处理, 又要承担通信控制。因此, 为了减轻中央计算机的负担, 20 世纪 60 年代研制出了面向终端的远程联机系统, 由一台叫做“前端处理机 (FEP)”的设备专门负责通信控制, 而中央计算机只需要负责数据处理。

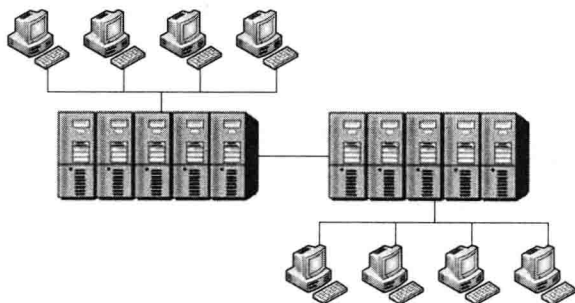


图 1-4 多用户系统

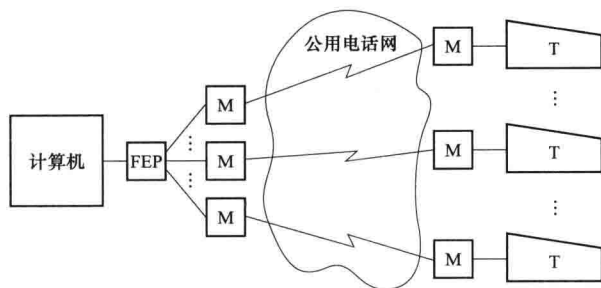


图 1-5 面向终端的远程联机系统

FEP—前端处理机；M—调制解调器；T—终端

用前端处理机完成通信任务

20 世纪 60 年代初期，美国航空公司投入使用的飞机票预定系统就是一种面向终端的远程联机系统，这个系统名为 SABRE，即 Semi-Automatic Business Research Environment，由一台计算机和遍布全美国的 2000 多个终端组成。

2. 数据通信网络

第二代计算机网络以美国的 ARPA 网（ARPANet）为典型代表。ARPA 网是世界上第一个以资源共享为主要目的的计算机网络。此外，它还是 Internet 的前身（ARPA 网的民用科技研究部分演化成目前的 Internet）。目前有关计算机网络的概念、结构和技术都与 ARPA 网有关。在 ARPA 网中提出的许多网络技术术语，如分组交换（Packet Switching）、存储转发（Store and Forward）、路由选择（Routing）、流量控制（Flow Control）等术语，至今仍在使用。ARPA 网结构示意图如图 1-6 所示。

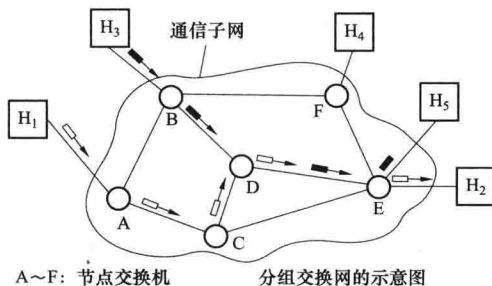


图 1-6 ARPA 网结构示意图

从图 1-6 可以看出，ARPA 网分成两个部分：通信子网和资源子网。其中，通信子网主要负责数据通信工作，即负责在用户计算机之间传输数据；资源子网主要负责数据处理工作，由网上的主机向网络用户提供各种软件和硬件资源。在这个阶段，除了 ARPA 网之外，还有两个代表：SNA（System Network Architecture，系统网络体系结构）网和 DNA（Digital Network Architecture，数字网络体系结构）网。

SNA 是 IBM（International Business Machines Corp）公司于 1974 年提出的一个网络标准体系，是第一个商品化的网络。它说明了利用 IBM 公司的计算机设备构成网络系统时，所要遵守的规则（或约定）。IBM 的用户可以利用它将分布在各地的计算机系统和终端连接起来，形成一个整体。

DNA 是 DEC (Data Equipment Company) 公司提出的网络标准体系, 1975 年推出相应的产品 DECnet。

不管是 ARPA 网、SNA 网还是 DNA 网, 都有各自不同的网络体系结构和标准, 因此这些网络之间很难互联互通。因此, 出现了计算机网络发展的第三个阶段——开放的标准化网络。

3. 开放的标准化网络

虽然在 20 世纪 70 年代末计算机网络得到了很大发展, 但各个厂商或研究机构各自设计并搭建的网络并不是依据一个统一的标准, 它们之间不能做到互联互通。因此, 国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 成立了专门的工作组来研究计算机网络的标准化问题。标准化的最大好处是开放性, 使各种网络能够互联互通, 而且有了统一标准, 组建一个计算机网络就不必局限于购买某个公司的产品。为了促进计算机网络的标准化, ISO 制定了以层次结构为基础的计算机网络体系结构标准, 这就是开放系统互联参考模型 (Open System Interconnect Reference Model)。

4. Internet 时代

从 20 世纪 80 年代末至今, 整个网络发展成为以 Internet (因特网) 为代表的互联网。Internet 是指全球范围内的计算机系统联网。可以说它是世界上最大的计算机网络, 是一个将全球成千上万的计算机网络连接起来而形成的全球性计算机网络系统。它使得全球联网的计算机之间可以交换信息或共享资源。

Internet 其实是源于 ARPANet。1983 年后, ARPANet 分为军用和民用两个领域, 普通科技人员可以利用民用领域的 ARPANet 进行科学研究和成果共享。随着民用领域的不断扩大, 包括政府部门、国防合同承包商、大学和重要的科学研究机构都使用该网络并进行互联, 逐渐发展成为目前规模宏大的 Internet。

在 Internet 中, 用户计算机需要通过校园网、企业网或 ISP 连入地区主干网, 地区主干网通过国家主干网连入国家间的高速主干网, 这样就形成一种由路由器互联的大型层次结构的互联网络 (图 1-7)。

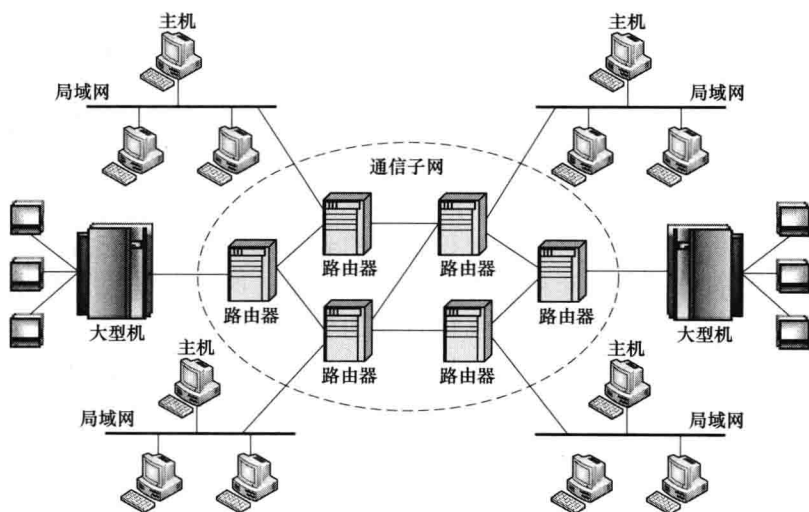


图 1-7 大型层次结构的互联网络

目前世界上已有 150 多个国家和地区接入 Internet, Internet 上拥有不计其数的网络资源, 用户可以从 Internet 上获得所需的信息。Internet 在我国的发展也非常迅速, 已覆盖了 30 个省市的 200 多个城市以及 240 多所大专院校。

随着网络通信的发展, 加上 Internet 自身具有的巨大经济潜力和美好前景, 相信 Internet 将对世界经济、社会、科学、文化的发展起到不可估量的推动作用。

1.3.2 我们的生活离不开计算机通信网络

早期的计算机网络局限于在相连的计算机系统之间交换基于字符的信息。如今的网络已演变为在多种不同类型的设备之间传送语音、视频流、文本和图片。以前各自为政的各种不同通信形式现在都整合到了同一个公共平台中。这个平台提供了大量新的可选通信方法, 使人们可以即时进行直接互动。过去, 数据网络只是用于在企业之间传输信息, 如今已转化为改善世界各地人们生活质量的工具 (图 1-8)。



图 1-8 计算机数据网络渗入到生活中的各个领域

1. 网络支撑着我们的学习方式 (图 1-9)

通信、协作和参与是教育的基本构成单位。教育机构正在不断努力强化这些过程, 以便在最大范围内最大限度地传播知识。稳定且可靠的网络能支持并丰富学生的学习体验。这些网络提供各种格式的学习资料。学习资料包括交互式练习、考试和反馈。通过网络或 Internet 资源提供的课程通常称为在线学习或电子教学。

电子教学课件使学生可用的资源增加了许多倍。传统的学习方法主要通过课本和教师为学生提供专业知识。但这两种知识来源的表现形式和时间安排都非常有限。而在线课程可以包含语音、数据和视频, 并且可供学生随时随地使用。学生可通过链接访问各类参考资料及主题专家, 从而强化自身的学习体验。在线讨论组和留言板使学生可与教师、同学或世界各地的学生合作交流。混合课程可将教师指导的课程与在线课件组合在一起, 同时发挥这两种授课方法的长处。远程在线学习消除了地理障碍并增加了学生的学习机会, 使学生不必居住在高质量教学机构的附近, 就能接受这些机构的教学。