

国家精品课程主讲教材

计算机网络

Computer Networks

杨 庚 胡素君 叶晓国 李 鹏 倪晓军



高等教育出版社
Higher Education Press

国家精品课程主讲教材

计算机网络

JISUANJI WANGLUO

杨庚 胡素君 叶晓国 李鹏 倪晓军



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书系统地介绍计算机网络的基本概念和基本理论与技术, 内容包括计算机网络的基本概念、发展历史、体系结构、数据通信技术基础, 以及物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层等层次的基本概念与功能, 同时还包含网络管理和网络安全等相关的内容。各章后附有练习题, 并附有习题解答和电子教案等教学辅助材料。

本书注重基本概念, 从实际应用出发, 突出重点、叙述清楚、深入浅出、论述详尽, 通过较多的例题来说明概念和理论, 便于教和学, 是国家精品课程“计算机通信与网络”的配套教材。本书内容覆盖了硕士研究生入学考试“计算机学科专业基础综合考试”中“计算机网络”课程的大纲范围。

本书可作为高等学校计算机及相关专业计算机网络等相关课程的教材, 也可作为其他专业师生和科技工作者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/杨庚等编著. —北京: 高等教育出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-04-028473-7

I. ①计… II. ①杨… III. ①计算机网络-高等学
校-教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 002711 号

策划编辑 刘 艳 责任编辑 俞丽莎 封面设计 王 洋 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 胡晓琪 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 河北新华印刷一厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 19.75
字 数 450 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 3 月第 1 版
印 次 2010 年 3 月第 1 次印刷
定 价 23.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28473-00

前 言

以因特网为标志的计算机网络的发展,改变了人们的生活方式,引起了巨大的社会变革,而计算机网络与通信技术的融合为人们展示了更宽广的应用前景。基于 IP 技术的网络互连与通信使其理论和技术研究面临新的挑战,各类层次的人才培养需求增大。本书紧紧抓住计算机网络技术与通信的结合,以 TCP/IP 协议为基础,深入浅出,全面系统地阐述计算机网络所涉及的基本概念和基本内容。

本书是国家精品课程“计算机通信与网络”的配套教材,总结了笔者 20 多年来讲授该课程的经验 and 体会,内容覆盖了研究生入学考试“计算机学科专业基础综合考试”中的“计算机网络”课程的大纲范围,同时参照了教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会于 2009 年公布的《高等学校计算机科学与技术专业核心课程教学实施方案》。

全书共分 8 章:第 1 章主要介绍计算机通信与网络的基本概念和发展历史;第 2 章侧重介绍通信技术基础,以及物理层的概念和功能;第 3 章介绍数据链路层的基本概念和功能;第 4 章介绍局域网与广域网技术;第 5 章介绍网络层与网络互连技术,包括基本概念和路由协议;第 6 章传输层,重点讲述 TCP 和 UDP 这两种传输协议;第 7 章涉及应用层的基本内容,重点介绍常用的应用协议,如 DNS、FTP、WWW 和电子邮件等;第 8 章介绍网络管理的内容与相关协议,以及网络安全相关的知识等。

全书每章最后附有练习题,以便巩固所学内容。为了便于学习与教师授课,本书配有练习题参考答案和电子教案等教学辅助材料,可在高等教育出版社的相关网站下载网址,或向 yangg@njupt.edu.cn 垂询。

本书由国家精品课程组杨庚、胡素君、章韵、叶晓国、程卫青、李鹏、沈金龙、倪晓军等编写,由杨庚负责统稿。南京邮电大学教务处对本书的编写给予了支持,清华大学史美林教授对书稿进行了认真、细致的审阅,本书中还引用了其他同行的工作成果,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏与不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2009 年 10 月

目 录

第 1 章 概论 1	2.1.3 数据通信系统的技术指标..... 26
1.1 计算机通信与网络发展过程..... 1	2.2 传输介质 30
1.1.1 主要发展过程..... 1	2.2.1 双绞线..... 30
1.1.2 我国的网络发展现状..... 3	2.2.2 同轴电缆..... 31
1.2 计算机网络基本概念..... 4	2.2.3 光纤..... 31
1.2.1 计算机网络的定义..... 4	2.2.4 无线的传输介质..... 33
1.2.2 计算机网络的组成..... 5	2.3 编码与调制 35
1.3 网络的类型及其特征..... 6	2.3.1 数字—数字编码..... 35
1.3.1 根据网络拓扑结构分类..... 6	2.3.2 模拟—数字编码..... 36
1.3.2 根据网络覆盖范围分类..... 6	2.3.3 数字—模拟调制..... 38
1.3.3 根据网络传输介质分类..... 7	2.3.4 模拟—模拟调制..... 39
1.4 计算机通信协议与网络 体系结构..... 8	2.4 多路复用技术 40
1.4.1 通信协议与分层体系结构..... 9	2.4.1 频分复用..... 40
1.4.2 OSI/RM 体系结构..... 11	2.4.2 时分复用..... 41
1.4.3 TCP/IP 体系结构..... 15	2.4.3 码分复用..... 42
1.4.4 OSI/RM 和 TCP/IP 体系 结构的比较..... 16	2.4.4 波分复用..... 43
1.4.5 网络通信标准化组织..... 17	2.5 数据交换技术 43
1.5 计算机网络发展动态..... 18	2.5.1 电路交换..... 44
1.5.1 基于 IPv6 的下一代因特网..... 18	2.5.2 报文交换..... 45
1.5.2 软交换技术..... 18	2.5.3 分组交换..... 46
1.5.3 可信网络和普适服务..... 19	2.6 物理层设备与接口 47
本章总结..... 20	2.6.1 中继器..... 48
练习题..... 21	2.6.2 集线器..... 48
第 2 章 物理层 23	2.6.3 物理层接口特性..... 50
2.1 数据通信基础..... 23	本章总结..... 53
2.1.1 信息、数据与信号..... 23	练习题..... 54
2.1.2 数据通信系统..... 24	第 3 章 数据链路层 55
	3.1 数据链路层的基本概念..... 55
	3.1.1 数据电路和数据链路..... 55

3.1.2	数据链路的结构	56	4.3.2	以太网工作原理	108
3.1.3	数据链路层帧的构成	57	4.4	以太网的 MAC 层	110
3.1.4	数据链路层的功能	59	4.4.1	MAC 地址	110
3.2	数据的可靠传输与流量控制	60	4.4.2	MAC 帧格式	111
3.2.1	流量控制的作用	60	4.4.3	CSMA/CD 的工作过程	112
3.2.2	停止—等待方式流量控制	61	4.4.4	以太网的信道利用率	113
3.2.3	滑动窗口协议	67	4.5	以太网的组网方式	115
3.2.4	连续 ARQ 协议	71	4.5.1	连接方式	115
3.2.5	选择 ARQ 协议	73	4.5.2	以太网级联与扩展	116
3.3	差错控制	74	4.6	高速以太网	119
3.3.1	差错控制的基本概念	74	4.6.1	100BASE-T 以太网	119
3.3.2	简单的差错控制编码	79	4.6.2	千兆以太网	120
3.3.3	汉明码及线性分组码	80	4.6.3	以太网技术的发展	122
3.3.4	循环码	83	4.7	虚拟局域网	123
3.4	点对点信道的数据链路层协议	85	4.7.1	虚拟局域网的概念	123
3.4.1	数据链路层协议概述	86	4.7.2	虚拟局域网标准	124
3.4.2	面向比特的传输控制规程	86	4.8	无线局域网	124
3.4.3	Internet 中的 PPP 协议	91	4.8.1	无线局域网概述	124
本章总结		95	4.8.2	802.11 标准中的物理层	126
练习题		97	4.8.3	802.11 标准中的 MAC 层	127
第 4 章 局域网与广域网		99	4.9	广域网	131
4.1	局域网概述	99	4.9.1	广域网概述	131
4.1.1	局域网的定义	99	4.9.2	广域网中的分组交换	132
4.1.2	局域网的特点	100	4.9.3	X.25 分组交换网	134
4.1.3	局域网的 4 个技术特性	100	4.9.4	帧中继	135
4.1.4	局域网的拓扑结构	100	4.9.5	异步传送方式 ATM	136
4.1.5	局域网的相关标准	101	本章总结		138
4.1.6	局域网的传输介质	102	练习题		138
4.2	局域网信道的介质访问控制	103	第 5 章 网络层与网络互连		140
4.2.1	介质访问控制基本概念	103	5.1	网络层概述	140
4.2.2	基于随机访问的介质 访问控制	104	5.1.1	网络层的功能	140
4.2.3	基于轮询访问的介质 访问控制	106	5.1.2	路由选择算法	142
4.3	以太网技术	107	5.2	IPv4	144
4.3.1	以太网概述	107	5.2.1	分类的 IP 地址	144
			5.2.2	IP 地址的分配与使用	146
			5.2.3	IP 数据报	147

5.2.4 因特网地址到物理地址的映射	152	6.1.1 传输层的功能	210
5.2.5 无连接的数据报传送	155	6.1.2 传输层编址和套接字	212
5.2.6 差错与控制报文	158	6.1.3 无连接服务和面向连接服务	214
5.2.7 子网编址	161	6.2 UDP 协议	214
5.2.8 无编号的点对点网络	164	6.2.1 UDP 概述	214
5.2.9 无分类编址与 CIDR	165	6.2.2 UDP 用户数据报格式	215
5.3 因特网的路由选择协议	168	6.2.3 UDP 实例	217
5.3.1 自治系统与路由选择协议分类	168	6.3 TCP 协议	218
5.3.2 内部网关协议 RIP	170	6.3.1 TCP 概述	218
5.3.3 内部网关协议 OSPF	173	6.3.2 TCP 报文段格式	219
5.3.4 外部网关协议 BGP	180	6.3.3 TCP 连接管理	221
5.4 IP 组播	184	6.3.4 TCP 可靠传输	224
5.4.1 IP 组播基本概念	184	6.3.5 TCP 流量控制	228
5.4.2 IP 组播地址和 IP 协议对组播的处理	185	6.3.6 TCP 拥塞控制	229
5.4.3 网际组管理协议	187	6.3.7 TCP 实例	231
5.4.4 组播转发和路由选择	188	本章总结	232
5.5 移动 IP	190	练习题	232
5.5.1 移动 IP 的概念	190	第 7 章 应用层	234
5.5.2 移动 IP 的通信过程	191	7.1 应用层协议与网络应用模式	234
5.6 专用网络与互连	193	7.1.1 应用层协议	234
5.6.1 虚拟专用网 VPN	193	7.1.2 网络应用模式	235
5.6.2 网络地址转换 NAT	194	7.2 域名系统	239
5.7 下一代网际协议 IPv6	195	7.2.1 域名系统概念	239
5.7.1 IPv6 的主要特点	196	7.2.2 域名结构	240
5.7.2 IPv6 基本首部格式	196	7.2.3 域名解析服务	241
5.7.3 IPv6 编址	197	7.3 远程登录	243
5.8 网络互连设备	199	7.4 文件传输协议	244
5.8.1 互连设备分类	199	7.4.1 文件传输协议	244
5.8.2 路由器的组成和功能	201	7.4.2 简单文件传输协议	246
本章总结	206	7.5 引导程序协议与动态主机配置协议	246
练习题	207	7.5.1 引导程序协议	246
第 6 章 传输层	210	7.5.2 动态主机配置协议	247
6.1 传输层提供的服务	210	7.6 电子邮件系统与 SMTP	248
		7.6.1 电子邮件系统的组成	248
		7.6.2 简单邮件传输协议 SMTP	249

7.6.3 POP3 和 IMAP4	250	8.5 数据加密技术	287
7.6.4 MIME	250	8.5.1 对称密钥密码技术	288
7.7 万维网与 HTTP	255	8.5.2 非对称密钥密码技术	289
7.7.1 超文本传输协议	256	8.6 用户身份认证	291
7.7.2 超文本标记语言	259	8.6.1 基于共享密钥的用户 认证协议	291
7.8 网络电话技术及其应用	261	8.6.2 基于公开密钥算法的用户 认证协议	292
7.8.1 网络电话的基本分类	261	8.6.3 基于密钥分发中心的用户 认证协议	292
7.8.2 网络电话系统的组成	263	8.6.4 数字签名	293
7.8.3 网络电话应用的关键技术	264	8.6.5 报文摘要	294
本章总结	267	8.7 访问控制	295
练习题	268	8.7.1 访问控制基本原理	295
第 8 章 网络管理和网络安全	270	8.7.2 防火墙技术	295
8.1 网络管理的基本概念	270	8.8 虚拟专用网	296
8.1.1 网络管理的发展及逻辑结构	270	8.9 高层安全	299
8.1.2 网络管理标准化	272	本章总结	300
8.2 网络管理的主要功能	272	练习题	301
8.3 网络管理协议	275	缩略语	302
8.3.1 公共管理信息协议	275	参考文献	307
8.3.2 简单网络管理协议	278		
8.4 网络安全概述	283		
8.4.1 网络安全的目标	284		
8.4.2 安全服务与安全机制	285		

第1章 概 论

进入 20 世纪 90 年代以后，以因特网为代表的计算机通信与网络技术飞速发展，改变了人们的生活方式，引起了社会、经济、文化等多方面的变革，其最重要的特征就是数字化、网络化和信息化，其技术基础是通信技术与计算机技术的融合，而计算机网络就是这些信息交流共享的载体。

计算机网络技术始于 20 世纪 50 年代中期，它的诞生和发展的动力是人们对信息交换和资源共享的需求。计算机网络中的数据通信是一个复杂的过程，需要解决信息从发送端到接收端的一系列问题，包括信息的生成、表示、处理、传输、保密等过程，这些也是本书所要讨论的问题。

本章主要介绍计算机网络的发展过程、基本概念、计算机通信协议与网络体系结构、国际标准化组织等内容，特别是网络体系结构的层次模型，它是进行网络互连的理论模型。通过本章的学习，要掌握计算机网络的基本概念和计算机网络体系结构与参考模型，特别是计算机网络的分层协议，了解国际标准化工作与相关组织。

1.1 计算机通信与网络发展过程

1946 年，世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生，随着计算机性能与应用需求的不断发展，计算机技术与通信技术的融合使计算机通信与网络经历了从简单到复杂、从低级到高级、从地区到全球的发展过程。从为解决远程计算信息的收集和处理而形成的联机系统开始，发展到以资源共享为目的而互连起来的计算机群，使之渗透到社会生活的各个领域之中。

1.1.1 主要发展过程

从网络的发展过程来看，可大致划分为以下 4 个阶段。

(1) 第一阶段：面向终端的计算机网络。这个阶段主要从 20 世纪 50 年代中期~20 世纪 60 年代中期，这种网络实际上就是以单个计算机为中心的远程联机系统，在地理上分散的终端不具备自主计算与处理功能，它们通过通信线路连接到中心计算机上，实现对中心计算机资源的访问和使用。这样的系统除了一台中心计算机外，其余的终端设备都没有自主处理的功能，所以，严格讲还不能算一个计算机网络。但现在为了更明确地区别于后来发展的多个计算机互连的计算机网络，将其称为面向终端的计算机网络。随着连接的终端数目的增多，为了使承担数据处理的中心计算机减轻负载，在通信线路和中心计算机之间设置了一个前端处理机（front

end processor, FEP), 专门负责与终端之间的通信控制, 出现了数据处理和通信控制分工, 从而更好地发挥中心计算机的数据处理能力。另外, 在终端较集中的地区, 设置集中器和多路复用器, 它首先通过低速线路将附近群集的终端连至集中器或复用器, 然后通过高速通信线路、调制解调器与远程中心计算机的前端处理机相连。因此, 这种系统的特点是系统由主机和终端构成, 所有数据处理和通信处理都是由主机完成的。

(2) 第二阶段: 多个计算机互连的计算机网络。这个阶段主要从 20 世纪 60 年代中期~20 世纪 70 年代末, 在第一阶段的基础上, 发展形成了若干个计算机互连的系统, 开创了从计算机到计算机通信的时代。第二阶段的典型代表是 ARPA 网 (ARPANET), 它标志着目前常称的计算机网络的兴起。20 世纪 60 年代后期, 由美国国防部高级研究计划局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 提供经费, 由计算机公司和大学共同研制了 ARPANET, 其主要目标是借助于通信系统, 使网内各计算机系统间能够相互共享资源。在随后的几年里 ARPANET 已经扩展到连接数百台计算机, 地理上不仅跨越美国本土, 而且通过卫星链路连接夏威夷和欧洲 的节点。

ARPANET 的研制对计算机通信与网络的发展起到了重要的推动作用, 它在概念、结构和网络设计等方面的研究为后续的计算机通信与网络打下了基础。此阶段的计算机网络的特点是实现了计算机与计算机的互连与通信, 实现了计算机资源的共享。但缺点是没有形成统一的互连标准, 使网络在规模与应用等方面受到了限制。

(3) 第三阶段: 面向标准化的计算机网络。这个阶段主要从 20 世纪 80 年代~20 世纪 90 年代初期, 是开放式标准化的计算机网络阶段。国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 于 1984 年正式颁布了一个称为开放系统互连基本参考模型 (Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM) 的国际标准 ISO 7498, 该模型按层次结构划分为 7 个子层, OSI/RM 模型目前已被国际社会普遍接受, 是公认的计算机网络系统结构的基础。

20 世纪 80 年代中期, 以 OSI/RM 模型为基础, ISO 以及当时的国际电报电话咨询委员会 CCITT 为各个层次开发了一系列的协议标准, 组成了庞大的 OSI 基本标准集, CCITT 是联合国国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU) 下属的一个组织, 目前已经撤销, 更名为电信标准化部 (Telecommunications Standardization Sector, ITU-TSS), 也称为 ITU-T。CCITT 颁布的建议在数据通信与网络方面最著名的就是 X 系列建议, 如在公用数据网中广泛采用的 X.25、X.3、X.28、X.29 和 X.75 等。

在此阶段, 发展形成了多种局域网。并以 ARPANET 为基础, 形成了基于 TCP/IP 协议簇的因特网 (Internet)。即任何一台计算机只要遵循 TCP/IP 协议族标准, 并有一个合法的 IP 地址, 就可以接入到 Internet。TCP 和 IP 是 Internet 所采用的协议簇中最核心的两个, 分别称为传输控制协议 (transmission control protocol, TCP) 和互联网协议 (Internet protocol, IP)。它们尽管不是某个国际官方组织制定的标准, 但由于被广泛采用, 已成为事实上的标准。基于 TCP/IP 协议簇的因特网是当今计算机网络互连的基础。

(4) 第四阶段: 面向全球互连的计算机网络。这个阶段主要从 20 世纪 90 年代中期开始。1993 年美国政府发布了名为“国家信息基础设施行动计划” (National Information Infrastructure,

NIJ) 的文件, 其核心是构建国家信息高速公路, 即建设一个覆盖全美的高速宽带通信与计算机网络。此计划的实施在全世界引起了巨大的反响, 许多国家和地区纷纷效仿, 制定各自的建设计划, 我国也在这个阶段快速推进了国家信息网络的建设。所有这一切在全球范围内都极大地推动了计算机网络及其应用的发展, 使计算机网络进入了一个新的发展阶段。

这一时期在计算机通信与网络技术方面以高速率、高服务质量、高可靠性等为指标, 出现了高速以太网、VPN、无线网络、P2P 网络、NGN 等技术, 计算机网络的发展与应用已渗入人们生活的各个方面, 进入了一个多层次的发展阶段。

1.1.2 我国的网络发展现状

我国的信息网络与计算机网络的大规模发展始于 20 世纪 90 年代初。1993 年底国家有关部门决定兴建“金桥”、“金卡”、“金关”工程, 简称“三金”工程。“金桥”工程是以卫星综合数字网为基础, 以光纤、微波、无线移动等方式, 形成空地一体的网络结构, 可传输数据、语音、图像等, 以电子邮件、电子数据交换 (electronic data interchange, EDI) 为信息交换平台, 为各类信息的流通提供物理通道。“金卡”工程即电子货币工程, 它的目标是用 10 年的时间, 在 3 亿城市人口推广普及金融交易卡和信用卡。“金关”工程是用 EDI 实现国际贸易信息化, 进一步与国际贸易接轨。

目前在公用数据通信网建设方面, 电信部门建立了中国公用分组交换数据网 (ChinaPAC)、中国公用数字数据网 (ChinaDDN) 和中国公用帧中继网 (ChinaFRN) 等数字通信网络, 形成了我国的公用数据通信网。ChinaPAC 由国家骨干网和各省 (直辖市、自治区) 的省内网组成。目前骨干网之间覆盖所有省会城市, 省内网覆盖到有业务要求的所有城市和发达乡镇。通过和电话网的互连, ChinaPAC 可以覆盖到电话网通达到的所有地区。ChinaPAC 设有一级交换中心和二级交换中心, 一级交换中心之间采用不完全网状结构, 一级交换中心到所属二级交换中心之间采用星状结构。ChinaDDN 由于协议简单, 速率较高, 这几年在我国得到迅速发展。1994 年开始组建 ChinaDDN 一级干线网, 目前一级干线网已通达所有省会城市, 各省、直辖市、自治区都在积极建设经营 DDN 网, 至 1996 年底, ChinaDDN 已经覆盖 2 100 个县以上城市, 发达地区已覆盖乡镇, 端口总数达 18 万个。ChinaFRN 是我国第一个将向公众提供服务的宽带数据通信网络, ChinaFRN 主要提供 64 Kbps 以上的中高速数据通信服务。

在因特网建设方面, 我国的发展历史分为以下 3 个阶段。

(1) 第一阶段: 1986—1994 年, 这个阶段主要是通过中科院高能物理研究所的网络线路, 实现了与欧洲及北美地区的 E-mail 通信。中国科技界从 1986 年开始使用 Internet。1990 年开始, 国内的北京市计算机应用研究所、中科院高能物理研究所、信息产业部华北计算所、电子部石家庄第 54 研究所等科研单位, 先后将自己的计算机以 X.28 或 X.25 与 ChinaPAC 相连接。同时, 利用欧洲和北美国家的计算机作为网关, 在 X.25 网与 Internet 之间进行转接, 使得我国的 ChinaPAC 科技用户可以与 Internet 用户进行 E-mail 通信。

(2) 第二阶段: 1994—1995 年, 这个阶段是教育科研网发展阶段。北京中关村地区及清华、北大组成 NCFC (The National Computing and Networking Facility of China) 网, 于 1994 年 4 月

开通了国际 Internet 的 64 kbps 专线连接，同时还设立了中国顶级域名 (CN) 服务器。中国真正加入到国际 Internet 行列，此后又建成了中国教育和科研计算机网 (CERNET)。

CERNET 是我国国家计委批准立项、国家教委主持建设和管理的全国性教育和科研网络，目的是要把全国大部分高等学校连接起来，推动这些学校校园网的建设和信息资源的交流，并与现有的国际学术计算机网互连。

(3) 第三阶段：1995 年以后，该阶段开始了商业应用阶段。1995 年 5 月邮电部开通了中国公用计算机互联网 (即 ChinaNET)，1996 年 9 月电子部的 ChinaGBN 开通，根据中国互联网络信息中心 2008 年发布的《中国互联网络发展状况统计报告》，目前有 8 个主要网络，如表 1-1 所示。

表 1-1 国内主要网络运行情况

国内主要网络	带宽/Mbps
中国公用计算机互联网 (ChinaNET)	230 225
宽带中国 Chian169 网	211 137
中国科技网 (CSTNET)	9 010
中国教育和科研计算机网 (CERNET)	9 932
中国移动互联网 (CMNET)	27 860
中国联通互联网 (UNINET)	4 319
中国铁通互联网 (CRNET)	1 244
中国国际经济贸易互联网 (CIETNET)	2

中国网络用户规模继续呈现持续快速发展的趋势。截至 2008 年 6 月底，中国网民数量达到 2.53 亿人，其规模已跃居世界第一位，中国互联网络信息中心 (CNNIC) 负责管理和运行中国顶级域名 CN。

1.2 计算机网络基本概念

在后面的学习中将涉及一些计算机网络的观念，尽管有一些概念目前还没有严格的定义，但本书将力图从不同的角度解释这些概念。

1.2.1 计算机网络的定义

通信技术与计算机技术的结合促进了计算机通信与网络的发展，计算机通信与计算机网络既有密切的联系，又有各自的侧重点。只要是介入与计算机相互通信的系统就是一个计算机通信系统，从前面计算机通信与网络的发展过程来看，计算机通信侧重于计算机与计算机之间的通信，涉及两者之间的数据处理、传输与交换，它可能根本就没有计算机网络的概念，因为它们之间在有些情况下就没有形成一个网络，而是一个从一端到另一端的通信系统。而计算机网络强调的是在网络范围内的计算机资源的共享，构建在计算机通信的基础之上。所以，计算机

网络必须具有互连和共享的功能，这主要涉及以下 3 个方面的问题。

(1) 两台或两台以上的计算机相互连接起来才能构成网络，达到资源共享的目的。

(2) 两台或两台以上的计算机连接，互相通信交换信息，需要有一条通道。这条通道的连接是物理的，由硬件实现，这就是连接介质（有时称为信息传输介质）。它们可以是双绞线、同轴电缆或光纤等“有线”介质；也可以是激光、微波或卫星等“无线”介质。

(3) 计算机之间要通信交换信息，彼此就需要有某些约定和规则，这就是协议。

因此，可以把计算机网络定义为：把分布在不同地点且具有独立功能的多个计算机通过通信设备和线路连接起来，在功能完善的网络软件运行环境下，以实现网络中资源共享为目标的系统。

在此必须指出，计算机网络与分布式系统有着明显的不同。计算机网络是把分布在不同地点且具有独立功能的多个计算机通过通信设备和线路连接起来，实现资源的共享；分布式系统是在分布式计算机操作系统或应用系统的支持下，进行分布式数据处理和各计算机之间的并行工作，分布式系统在计算机网络基础上为用户提供了透明的集成应用环境。所以，分布式系统和计算机网络之间的区别主要在软件系统。

1.2.2 计算机网络的组成

根据定义可以把一个计算机网络概括为一个由通信子网和终端系统组成的通信系统，如图 1-1 所示。

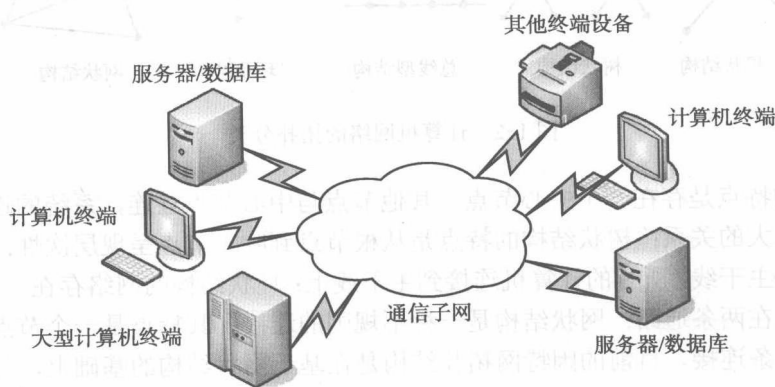


图 1-1 计算机网络的组成

1. 终端系统

终端系统由计算机、终端控制器和计算机上所能提供共享的软件资源和数据源（如数据库和应用程序）构成，在有些教材中也将这部分称为资源子网。计算机通过一条高速的多路复用线或一条通信链路连接到通信子网的节点上。终端用户通常是通过终端控制器访问网络，终端控制器能对一组终端提供控制。

2. 通信子网

通信子网是由用作信息交换的网络节点和通信线路组成的独立的数据通信系统，它承担全

网的数据传输、转接、加工和变换等通信处理工作。网络节点提供双重作用：一方面作为终端系统的接口，同时也可作为对其他网络节点的存储转发节点。作为网络接口节点，接口功能是按指定用户的特定要求而编制的。由于存储转发节点提供了交换功能，故报文可在网络中传送到目的节点。它同时又与网络的其余部分合作，以避免拥塞并提供网络资源的有效利用。

1.3 网络的类型及其特征

根据不同的分类方法，计算机网络有不同分类。常见的分类方法主要从网络的拓扑结构、网络的覆盖范围、网络的通信方式、网络的功能等方面进行。本节主要介绍根据网络的拓扑结构和网络的覆盖范围进行分类的方法。

1.3.1 根据网络拓扑结构分类

网络的拓扑（topology）结构是指网络中各节点的互连构型，也就是连接布线的方式。网络拓扑结构主要有5种：星状、树状、总线型、环状和网状，如图1-2所示。

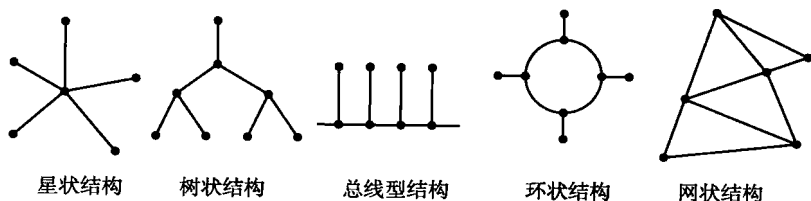


图 1-2 计算机网络的拓扑分类

星状结构的特点是存在一个中心节点，其他节点与中心节点互连，系统的连通性与中心节点的可靠性有很大的关系；树状结构的特点是从根节点到叶子节点呈现层次性；总线型结构的特点是存在一条主干线，所有的计算机连接到主干线上；环状结构的网络存在一个环状的总线，节点到节点间存在两条通路；网状结构是一种不规则的连接，其特点是一个节点到另一个节点之间可能存在多条连接。目前的因特网拓扑结构是在基于网状结构的基础上，与其他结构构成的混合型。

1.3.2 根据网络覆盖范围分类

根据网络覆盖的地理范围可以将计算机网络分为个人局域网、局域网、城域网、广域网和因特网。

1. 个人局域网

个人局域网（personal area network, PAN）简称个域网是在个人工作区内把个人使用的电子设备，如便携式计算机和打印机等，采用无线技术连接起来的网络，作用范围在10 m左右。

2. 局域网

局域网 (local area network, LAN) 覆盖的范围往往是地理位置上的某个区域, 如某一企业或学校等, 一般把计算机和服务器通过高速通信线路连接起来, 其传输速率在 10 Mbps 以上。把校园或企业内部的多个局域网互连起来, 就构成了校园网或企业网。目前局域网主要有以太网 (Ethernet) 和无线局域网 (wireless local area network, WLAN) 等。

3. 城域网

城域网 (metropolitan area network, MAN) 一般来说是在一个城市, 但不在同一地理小区范围内的计算机互连, 这种网络的连接距离可以达到 10~100 km, MAN 与 LAN 相比, 扩展的距离更长, 连接的计算机数量更多, 在地理范围上可以说是 LAN 的延伸。在一个大型城市或都市地区, 一个 MAN 通常连接着多个 LAN。如连接政府机构的 LAN、医院的 LAN、电信的 LAN、公司企业的 LAN 等。

4. 广域网

广域网 (wide area network, WAN) 也称为远程网, 所覆盖的范围比 MAN 更广, 它一般是在不同城市之间的 LAN 或者 MAN 网络互连, 地理范围可从几百千米到几千千米。因为距离较远, 信号衰减比较严重, 所以这种网络一般要租用专线, 通过 IMP (接口信息处理) 协议和传输介质连接起来。前面提到的 ChinaNET、ChinaPAC、和 ChinaDDN 都属广域网范畴。

5. 因特网

从覆盖的范围来说, 因特网也是一种广域网, 但由于其应用层的多样化、终端接入形式的多样化和网络拓扑覆盖的不确定性, 这里单独列出。因特网又称为“国际互联网”。人们几乎每天都要与因特网打交道, 目前无论从地理范围还是从网络规模来讲, 它都是最大的一种网络, 这种网络的最大的特点就是不定性, 整个网络的拓扑时刻随着网络的接入而不断变化。当一台计算机连接到因特网时, 该计算机就成了因特网的一部分, 一旦断开与因特网连接时, 此计算机就不属于因特网了。

1.3.3 根据网络传输介质分类

根据网络传输的介质不同, 又可以将计算机网络分为有线网络和无线网络。无线网络已成为当今人们关注的热点, 通过无线网络技术, 可以构造一个覆盖全球的网络。无线网络在接入与组网方面的便利性, 使人们可以在任何地点接入网络, 以获取各种信息资源, 为利用移动设备接入网络提供了手段。如用个人数字助理 (personal digital assistant, PDA) 或笔记本电脑等进行网页的浏览、网上电子商务等。互联网的出现改变了人们传统的工作与生活方式, 而无线网络的应用将进一步推动这种改变。

无线网络与有线网络的最大不同是传输介质不同。无线通信是利用电磁波在空中传播实现信息的交换。为了区分不同的信号, 采用不同的频率进行信号的传输。无线通信中的频率在国际上由 ITU-R 主管, 在国内由国家工业和信息化部指定专业无线频率委员会统一管理。不同的行业使用的无线信号被规定在不同的频率范围, 以保证相互之间不发生冲突。由于要传输的信号往往是低频率信号, 需要进行调制处理, 把低频率信号附着到指定的频率上再进行发送。

与有线网络类似，可以按无线网络覆盖的范围大小，将无线网络划分为：无线个域网、无线局域网、无线城域网和无线广域网。

1. 无线个域网

无线个域网（wireless personal area network, WPAN）的通信范围通常在 10~100 m，蓝牙（bluetooth）技术、ZigBee 技术和新近提出的超宽带（ultra wide band, UWB）技术是目前主要的无线个域网技术。

蓝牙技术运行于 2.4 GHz 频带上，可以将计算机以无线方式组成网络，同时还可以将数码相机、扫描仪、打印机等设备连接到计算机上，构成一个个人办公网络。蓝牙具有低功耗、低代价等特点。

ZigBee 技术也可以用于构建无线个域网，它已经被标准化，标准编号为 802.15.4。ZigBee 的射频标准及工作频率包括全球的 2.4 GHz、美洲的 902~928 MHz 和欧洲的 868 MHz。

UWB 技术不仅频带宽、传输耗电量低，而且可采用的频率范围相当宽，目前 IEEE 正在制定其 UWB 物理层规范 IEEE 802.15.3a，UWB 技术提供的数据传输率更高，是未来发展的方向之一。

2. 无线局域网

无线局域网（wireless local area network, WLAN）的覆盖范围更广泛，它的标准编号为 IEEE 802.11。802.11b 是第一个成功实现商业化的无线局域网技术，它运行于 2.4 GHz 频段，能提供 11 Mbps 数据传输率。802.11a 和 802.11g 分别运行于 5 GHz 频段与 2.4 GHz 频段，它们可以提供 54 Mbps 数据传输率。802.11n 协议为双频工作模式（包含 2.4 GHz 和 5 GHz 两个工作频段），这样保障了与以往的 802.11a、802.11b、802.11g 标准的兼容，802.11n 能提供 108 Mbps 数据传输率。

3. 无线城域网

无线城域网（wireless metro area network, WMAN）是以 IEEE 802.16 标准为基础，可以覆盖城市或郊区等较大范围的无线网络。目前比较成熟的标准有 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e。802.16d 标准在 50 km 范围内的最高数据速率可达 70 Mbps。802.16e 标准可以支持移动终端设备在 120 km/h 速度下以 70 Mbps 数据率接入。

4. 无线广域网

无线广域网（wireless wide area network, WWAN）是移动电话和数据业务所使用的数字移动通信网络，可以覆盖相当广泛的范围，甚至覆盖全球，一般由电信运营商进行维护。目前数字移动通信网络主要采用 GSM 和 CDMA 技术，分别被称为 2 代和 2.5 代移动通信系统，它们最大只能提供 100 kbps 的数据率。第 3 代移动通信技术可选用 TD-SCDMA、WCDMA、CDMA2000 这 3 种标准，将支持更高数据率的接入。

1.4 计算机通信协议与网络体系结构

计算机网络由多个互连的节点组成，节点之间要不断地交换数据和控制信息。要做到有条不紊地交换数据，每个节点就必须遵守一整套合理而严谨的规则，在计算机网络的定义中也阐

述了网络互连必须遵循某些约定和规则，这就是计算机网络互连协议。解决计算机互连和资源共享是一个复杂的理论和技术问题，而将一个比较复杂的问题分解成若干个相对比较容易处理的子问题是设计方法常用的手段之一，协议层次化就是解决网络互连复杂性的系统分解方法。

由此可以给出计算机网络体系结构的定义。计算机网络体系结构是计算机网络的分层及其服务和协议的集合，也就是它们所应完成的所有功能的定义，是用户进行网络互连和通信系统设计的基础。因此，体系结构是一个抽象的概念，它只从功能上描述计算机网络的结构，而不涉及每层的具体组成和实现细节。网络体系结构的出现，极大地推动了计算机网络的发展。

1.4.1 通信协议与分层体系结构

在讨论协议与层次体系结构之前，先来看一个现实生活中的例子。图 1-3 所示为发信人向收信人寄一封信的过程。首先发信人采用某种语言写成一封信，按照某种格式填好地址，投入到信箱中；邮局收集信件，按照目的地址进行分类打包，并送到邮政处理中心；处理中心汇集各个邮包，并进行再次分类，送到铁路等运输部门；运输部门将邮包送到目的地的邮政处理中心；目的地的邮政处理中心解包后根据目的地址，将信件送到相应的邮政分理处；分理处将信件送到收信人；收信人最终拆开信封，阅读信函。

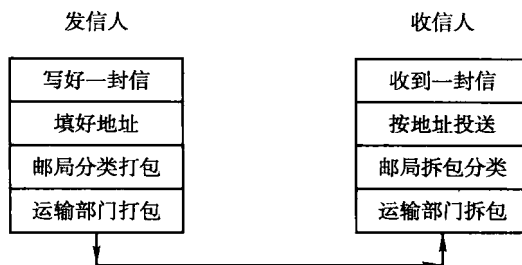


图 1-3 信件传统处理过程

在这个过程中包含了两个概念：一是每个部门完成相应的工作，既相互独立，又存在内在联系，如运输部门负责邮包的运输，邮政处理中心负责邮件的打包等，这就是分层的概念；二是信件的书写、地址的格式、邮政分理处覆盖的范围等都有约定，保证了信函被准确地送到目的地，同时使收信人能正确阅读信函内容。因此，为了保证计算机之间能够相互通信，它们之间必须要遵循一定的协议，下面就讨论计算机互连协议等问题。

1. 网络协议

网络中计算机的硬件和软件存在各种差异，为了保证相互通信及双方能够正确地接收信息，必须事先形成一种约定，即网络协议。协议代表着标准化，是一组规则的集合，是进行交互的双方必须遵守的约定。网络协议是计算机通信与网络不可缺少的组成部分。

(1) 网络协议的定义。简单地说，协议是指通信双方必须遵循的、控制信息交换的规则集合，是一套语义和语法规则，用来规定有关功能部件在通信过程中的操作，它定义了数据发送和接收工作中必经的过程。协议规定了网络中使用的格式、定时方式、顺序和差错控制。