

计算机网络

——原理、技术与应用

王相林 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书以“网络”概念的演变为主线，从“单向”到“双向”，再到“多向”，全面介绍了网络的发展历史、现状和未来趋势。本书可作为高等院校计算机专业及相关专业的教材，也可供从事网络工作的工程技术人员参考。

计算机网络

——原理、技术与应用

王相林 编著

本书共分10章，主要内容包括：网络的发展与分类、网络的组成、网络的拓扑结构、网络的传输介质、网络的交换技术、网络互连技术、网络层协议、网络层设备、网络层应用、网络层安全。

本书可作为高等院校计算机专业及相关专业的教材，也可供从事网络工作的工程技术人员参考。



机械工业出版社

地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 68995100
网址：<http://www.cmpbook.com>

本书采用“自顶向下”的方法介绍计算机网络的原理、技术与应用。结合因特网和TCP/IP协议分析计算机网络深层次的内容。内容涵盖：计算机网络基础知识，数据通信基础知识，自顶向下的5层计算机网络体系结构，计算机网络管理与网络安全，IPv6网络基础知识。本书结构脉络清晰，知识讲授循序渐进，力求反映最新的计算机网络理论、技术和应用知识。

本书可作为从事计算机网络研究和应用的科技人员的参考书，也可作为计算机类专业，电子、通信等理工类专业和经管类专业本科生的计算机网络课程教材，还可作为本科生考研用的计算机网络参考用书。

本书配套电子教案，需要的教师可登录机工教材服务网(www.cmpedu.com)进行注册，待审核通过后即可免费下载，也可直接联系编辑获取(QQ: 241151483, 电话010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络:原理、技术与应用/王相林编著.—北京:机械工业出版社, 2010.7

ISBN 978-7-111-30641-2

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机网络 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第112640号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:陈皓 郭娟

责任印制:杨曦

北京双青印刷厂印刷

2010年7月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·25.25印张·622千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30641-2

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

计算机网络是信息社会的基础设施，计算机网络技术已经渗透到人们生活、工作和学习的各个领域。对计算机网络理论、技术和应用的了解、学习和掌握已经成为人们的基本需求。计算机网络课程已经成为高等学校计算机类专业的基础课，以及理工类和经管类专业的必修课。

本书采用“自顶向下”的方法介绍计算机网络的原理、技术与应用，符合人们从应用开始接受、学习知识的习惯。结合因特网和身边的网络阐述计算机网络的理论基础、核心技术和应用方法，让读者看得懂、学得会，能与身边的网络应用紧密联系，知道所学的网络知识用在哪里、怎样用。这对提高读者的阅读和学习兴趣是十分重要的，也是作者撰写这本书的初衷。

本书内容是在作者多年科学研究、教学研究和教学实践过程中积累、修改、补充和逐步完善的。讲述时结合 TCP/IP 协议分析计算机网络深层次的内容。内容涉及计算机网络基本理论、原理、核心技术、技术实现、实际应用和网络新技术等。

把计算机网络的原理、技术与应用融合在一起讲述网络知识是一种新的尝试。结合网络应用反映最新的网络理论和技术知识，力求讲清楚计算机网络协议的层次在哪里，网络协议层次如何捆绑，怎样看到实际的网络协议包，以及 IP 协议和网络互连的核心思想，网络中的寻址技术和路由技术的核心内容。

在讲述网络知识内容的过程中提出问题，请读者尝试解决引申出的问题，同时指明相关知识应用时需要注意的地方，以及知识结构的前后衔接关系。对计算机网络知识的教和学努力达到“学思结合、知行统一、融会贯通”。

本书着重在以下几个方面做了尝试和努力：

1. 对计算机网络知识的重点和难点进行了剖析，尽可能用通俗的语言、生活中类似的例子阐述比较抽象的对等层协议、服务和接口等概念。
2. 用计算机网络的物理结构、逻辑结构、体系结构来描述和分析计算机网络的构成。
3. 把网络中的节点划分为端节点、访问节点和交换节点 3 种，并指出 3 种网络节点的位置及相互关系。
4. 通过给出网络层次与网络拓扑的对应位置和联系，让读者清晰地看到网络层次的分布。
5. 通过网络互连设备的包含关系描述，说明网络互连设备与网络互连层次的联系。
6. 在介绍典型的计算机网络体系结构时，把 LAN 体系结构与 OSI、TCP/IP 协议层次结构放在一起讨论，使读者能够尽快地与身边的计算机网络应用联系起来，带着网络应用中面临的问题学习，从而知道要学什么。

本书力求反映最新的计算机网络理论、技术和应用知识。书中包括对等网络、无线与移动通信基础、网络应用编程、多播路由选择、移动 IP、万兆位以太网、IPv6 技术等网络新技术内容。

本书分为 5 部分：

第1部分包括第1章计算机网络概述和第2章计算机网络协议和体系结构，讲述计算机网络的基本概念和基本知识。

第2部分包括第3章数据通信技术基础，讲述与计算机网络密切联系的数据通信的基础知识。

第3部分为全书的核心，包括第4章应用层、第5章运输层、第6章网络层、第7章数据链路层和局域网及第8章物理层。力求讲透5层协议中的每一层所包含的理论知识、实现的功能和描述方法。

第4部分包括第9章网络管理与网络安全，讲述网络管理模型和网络管理协议，以及网络数据加密、认证与数字签名技术等。

第5部分包括第10章IPv6网络，讲述IPv6协议、IPv6地址、ICMPv6和IPv6过渡技术的基本知识。

本书结构脉络清晰，知识讲授循序渐进。书中的内容和例子均经过验证，每章都配有思考题与习题。

本书可作为从事计算机网络研究和应用的科技人员的参考书，还可作为计算机类专业、电子、通信等理工类专业和经管类专业本科生的计算机网络课程教材。本书的内容涵盖计算机科学与技术类专业研究生考试大纲中相关的计算机网络知识的要求，也可以作为本科生考研用的计算机网络参考用书。

本书附录给出了使用该书的教学建议，以适合不同专业和层次计算机网络课程教学内容和教学课时的需求。

胡维华、万健、李向丽、石磊、董云耀、徐明、姜明、胡昔祥、徐向华、徐建对书稿内容提出了许多宝贵意见，给作者提供了很多支持和帮助，在此一并表示诚挚的谢意。

王源参加了书稿修改工作。王曦明参加了书稿插图绘制工作。杭州电子科技大学研究生卢庆菲、李蓓蕾、刘立朋、王慧娟、洪伟焯、赵颜昌、江宜为、陈国峰参加了资料整理工作。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言	1	2.2.5 协议和服务的关系	30
第1章 计算机网络概述	1	2.2.6 对等协议的通信用过程	31
1.1 计算机网络技术的发展历程	1	2.3 OSI参考模型	32
1.1.1 计算机网络的发展与形成	1	2.3.1 OSI参考模型概述	32
1.1.2 计算机网络发展的阶段	4	2.3.2 OSI参考模型的结构	32
1.1.3 计算机网络的定义	6	2.3.3 OSI参考模型各层的功能	33
1.1.4 计算机网络技术的特征	8	2.3.4 OSI参考模型中的数据传运输	35
1.1.5 计算机网络在信息时代的作用	8	2.4 TCP/IP协议参考模型	36
1.1.6 Internet的发展	9	2.4.1 TCP/IP协议的产生背景	36
1.1.7 计算机网络在中国的发展	10	2.4.2 TCP/IP协议的层次结构	38
1.2 计算机网络的组成和结构	13	2.4.3 网络协议的捆绑	40
1.2.1 计算机网络的物理结构	13	2.4.4 OSI与TCP/IP的比较	40
1.2.2 计算机网络的拓扑结构	14	2.5 局域网络体系结构参考模型	41
1.2.3 计算机网络的协议体系结构	15	2.5.1 局域网络体系结构的层次	41
1.2.4 计算机网络的分类	15	2.5.2 局域网络体系结构各层的 功能	42
1.2.5 计算机网络的硬件和软件	17	2.5.3 局域网络体系结构的特点	42
1.2.6 计算机网络中的常用术语	18	2.6 计算机网络实例	43
1.3 与计算机网络有关的技术 标准	19	2.6.1 ARPANET	43
1.3.1 国际组织与有关的标准	19	2.6.2 X.25网络	45
1.3.2 Internet标准及制定组织	20	2.6.3 Internet与Internet 2	46
1.3.3 RFC文档	21	2.7 小结	50
1.4 小结	22	2.8 思考题与习题	50
1.5 思考题与习题	23	第3章 数据通信技术基础	53
第2章 计算机网络协议和体系 结构	24	3.1 数据通信基本知识	53
2.1 计算机网络协议	24	3.1.1 信息、数据与信号	53
2.1.1 计算机网络协议的作用	24	3.1.2 通信的基本要求	54
2.1.2 计算机网络协议的要素	25	3.1.3 数据通信系统模型	54
2.1.3 计算机网络协议的格式	26	3.1.4 信道的最大容量	55
2.2 计算机网络体系结构	26	3.1.5 计算机网络中的速率	56
2.2.1 计算机网络体系结构的定义	26	3.1.6 基带传输和频带传输	57
2.2.2 网络体系结构分层的原则	27	3.1.7 通信双方的交互方式	58
2.2.3 网络体系结构中的服务	28	3.1.8 异步传输和同步传输	58
2.2.4 网络层次接口和数据单元	30	3.2 传输介质	59
		3.2.1 传输介质的分类	59

3.2.2	有线传输介质	60	4.2.2	域名地址空间结构	96
3.2.3	无线传输介质	66	4.2.3	DNS 域名解析过程	100
3.2.4	卫星传输	69	4.2.4	DNS 记录和报文	101
3.3	信道复用技术	71	4.3	万维网和 HTTP	103
3.3.1	频分复用和时分复用	71	4.3.1	万维网概述	103
3.3.2	波分复用	72	4.3.2	超文本标记语言	104
3.3.3	统计复用	73	4.3.3	统一资源定位符	105
3.4	数据编码技术	74	4.3.4	超文本传输协议	107
3.4.1	数字数据编码为模拟信号	74	4.3.5	Web 高速缓存	109
3.4.2	数字数据编码为数字信号	74	4.4	文件传输协议	109
3.4.3	模拟数据编码为数字信号	75	4.4.1	FTP 概述	109
3.4.4	模拟数据编码为模拟信号	77	4.4.2	FTP 的工作原理	110
3.5	交换技术	77	4.4.3	客户端应用程序	111
3.5.1	交换技术的用途	77	4.4.4	匿名 FTP 服务	112
3.5.2	电路交换和报文交换	77	4.4.5	FTP 交互工作过程的例子	112
3.5.3	分组交换	78	4.4.6	FTP 与 HTTP 的比较	114
3.5.4	交换技术的比较	78	4.4.7	简单文件传输协议	114
3.5.5	信元交换	79	4.5	电子邮件	114
3.6	差错控制技术	79	4.5.1	电子邮件概述	114
3.6.1	差错产生的原因	79	4.5.2	电子邮件协议	116
3.6.2	差错控制方法	79	4.5.3	电子邮件报文格式	117
3.6.3	海明校验	81	4.5.4	SMTP 的工作过程	117
3.6.4	循环冗余校验编码	82	4.5.5	POP3 的工作过程	120
3.7	无线与移动通信基础	84	4.5.6	通用 Internet 邮件扩展协议	121
3.7.1	无线通信基础知识	84	4.5.7	SMTP 与 HTTP 的比较	123
3.7.2	蜂窝移动通信	85	4.6	对等网络	124
3.7.3	全球移动通信系统	86	4.6.1	P2P 概述	124
3.7.4	码分多址访问	87	4.6.2	P2P 网络的结构	125
3.8	小结	89	4.6.3	P2P 网络和 C/S 网络的比较	127
3.9	思考题与习题	90	4.7	客户机/服务器应用编程	127
第 4 章	应用层	92	4.7.1	网络应用编程概述	127
4.1	应用层协议原理	92	4.7.2	TCP 套接字应用编程	128
4.1.1	应用层协议及描述	92	4.7.3	UDP 套接字应用编程	132
4.1.2	应用层需要的服务	93	4.8	小结	135
4.1.3	网络应用的计算模式	93	4.9	思考题与习题	136
4.1.4	应用层协议与运输层协议的 关系	94	第 5 章	运输层	138
4.2	域名系统	95	5.1	运输层概述	138
4.2.1	域名系统概述	95	5.1.1	运输层提供的服务	138
			5.1.2	运输层与相邻层的关系	139

5.1.3	运输服务质量和运输协议数据单元	140	5.8.3	综合服务	178
5.2	运输层协议的要素	141	5.8.4	区分服务	179
5.2.1	网络中的寻址	141	5.8.5	多协议标记交换	180
5.2.2	运输层的复用与分用	143	5.9	小结	181
5.2.3	运输连接的建立与释放	144	5.10	思考题与习题	182
5.2.4	运输协议实现的控制	146	第6章 网络层		185
5.3	基本的网络协议设计与分析	147	6.1	网络层涉及的问题	185
5.3.1	可靠数据传输协议设计的基本概念	147	6.1.1	网络层实现的功能	185
5.3.2	滑动窗口协议描述	148	6.1.2	虚电路服务和数据报服务	187
5.3.3	理想的网络协议	148	6.1.3	通信子网的内部结构	189
5.3.4	停-等协议	149	6.2	路由选择	191
5.3.5	回退 N 协议	152	6.2.1	路由选择概述	191
5.3.6	选择重传协议	154	6.2.2	网络分组的交付	194
5.3.7	3 种可靠数据传输协议的比较	156	6.2.3	路由选择模块与路由表	194
5.4	拥塞控制	157	6.2.4	路由技术要素	195
5.4.1	拥塞控制概述	157	6.2.5	静态路由选择	195
5.4.2	与拥塞控制有关的因素	158	6.3	动态路由选择	197
5.4.3	流量控制与拥塞控制	159	6.3.1	动态路由选择的基本概念	197
5.4.4	拥塞控制原理	160	6.3.2	孤立式自适应路由选择	197
5.4.5	网络拥塞控制机制	161	6.3.3	距离矢量路由选择	198
5.5	因特网中的运输层协议	167	6.3.4	链路状态路由选择	202
5.5.1	因特网运输层协议概述	167	6.4	层次路由选择	207
5.5.2	运输层的端口	167	6.4.1	层次路由选择概述	207
5.6	用户数据报协议	168	6.4.2	自治系统	208
5.6.1	UDP 的特点与作用	168	6.5	广播和多播路由选择	209
5.6.2	UDP 的协议格式	168	6.5.1	广播路由选择	209
5.6.3	UDP 的校验和	169	6.5.2	多播路由选择	210
5.7	传输控制协议	170	6.6	因特网的路由选择协议	213
5.7.1	TCP 的功能描述	170	6.6.1	内部路由协议——RIP	214
5.7.2	TCP 报文段的格式	171	6.6.2	内部路由协议——OSPF	216
5.7.3	TCP 连接与控制管理	173	6.6.3	外部路由协议——BGP-4	220
5.7.4	TCP 流量控制和拥塞控制	173	6.7	网络互连	225
5.7.5	TCP 的重传机制	176	6.7.1	网络互连概述	225
5.8	网络服务质量	177	6.7.2	网络互连模型及互连规则	226
5.8.1	网络服务质量概述	177	6.7.3	网络互连设备	228
5.8.2	调度和管制机制	178	6.7.4	网络互连层次之间的关系	229
			6.8	因特网上的网络层协议	229
			6.8.1	IP 协议概述	229
			6.8.2	IP 分组的分片	232

6.8.3	IP 地址及应用方法	233	7.5.3	地址解析协议应用分析	282
6.8.4	专用 IP 地址及用途	236	7.5.4	反向地址解析协议	284
6.8.5	IP 地址的一些要点	236	7.6	以太网原理与技术	284
6.8.6	IP 层转发分组的过程	237	7.6.1	以太网概述	284
6.8.7	子网划分技术	238	7.6.2	快速以太网	287
6.8.8	使用子网掩码的分组转发过程	241	7.6.3	千兆位以太网	288
6.8.9	无分类编址	242	7.6.4	万兆位以太网	291
6.8.10	因特网控制报文协议	245	7.7	令牌环形局域网	292
6.9	移动 IP 网络	247	7.7.1	令牌环形局域网概述	292
6.9.1	移动 IP 概述	247	7.7.2	IEEE 802.5 帧结构	293
6.9.2	移动 IP 技术涉及的术语	248	7.8	交换式局域网	294
6.9.3	移动 IP 的组成和结构	249	7.8.1	交换式局域网的结构和工作原理	294
6.9.4	移动节点具有的功能	250	7.8.2	交换机的交换方式	296
6.9.5	移动 IP 的工作原理	251	7.8.3	三层交换的概念	296
6.10	小结	252	7.8.4	局域网采用的三层交换技术	297
6.11	思考题与习题	253	7.8.5	三层交换机与传统路由器的比较	298
第 7 章	数据链路层和局域网	258	7.9	虚拟局域网	299
7.1	数据链路层	258	7.9.1	使用虚拟局域网的原因	299
7.1.1	数据链路层的基本概念	258	7.9.2	虚拟局域网概述	300
7.1.2	数据链路层的用途	259	7.9.3	虚拟局域网使用的帧格式	301
7.1.3	帧边界的确定及成帧方法	261	7.9.4	静态虚拟局域网和动态虚拟局域网	301
7.1.4	数据链路层的流量控制	263	7.9.5	虚拟局域网内主机之间的通信	302
7.2	数据链路层协议	263	7.9.6	虚拟局域网之间主机的通信	303
7.2.1	二进制同步通信协议	263	7.10	无线局域网	304
7.2.2	高级数据链路控制协议	265	7.10.1	无线局域网概述	304
7.2.3	因特网中的数据链路层协议	268	7.10.2	无线局域网的发展历程	305
7.3	局域计算机网络	270	7.10.3	IEEE 802.11	307
7.3.1	局域网概述	270	7.10.4	有固定基础设施的无线局域网	307
7.3.2	局域网涉及的问题	271	7.10.5	无固定基础设施的自组网络	308
7.3.3	局域网标准 IEEE 802	271	7.10.6	IEEE 802.11 的协议体系结构	309
7.4	信道访问协议	272	7.10.7	IEEE 802.11 的 MAC 层	310
7.4.1	信道访问协议概述	272	7.10.8	IEEE 802.11 的物理层	314
7.4.2	固定信道划分协议	273			
7.4.3	随机访问协议	273			
7.4.4	轮流访问协议	276			
7.5	MAC 地址与地址解析协议	277			
7.5.1	MAC 地址	277			
7.5.2	地址解析协议	278			

7.10.9 其他无线计算机网络	315	9.3.2 对称密钥密码体制	343
7.11 小结	316	9.3.3 数据加密标准	345
7.12 思考题与习题	317	9.4 公钥密码体制	346
第8章 物理层	320	9.4.1 公钥密码体制的概念	346
8.1 物理层协议	320	9.4.2 公钥密码体制的算法	348
8.1.1 物理层涉及的问题	320	9.4.3 数字签名技术	349
8.1.2 物理层协议描述	321	9.4.4 报文鉴别技术	350
8.1.3 物理层的物理连接	321	9.4.5 密钥分配技术	352
8.2 物理层标准举例	322	9.4.6 链路加密与端到端加密	353
8.2.1 EIA-RS-232 标准概述	322	9.5 防火墙技术及结构	354
8.2.2 EIA-RS-232-C 标准的特性 描述	322	9.5.1 防火墙技术的概念	354
8.2.3 两台计算机直连	324	9.5.2 防火墙的结构	355
8.3 宽带接入技术	324	9.6 入侵检测技术	356
8.3.1 xDSL 技术	324	9.6.1 入侵检测系统的定义和分类	356
8.3.2 光纤同轴混合技术	325	9.6.2 入侵检测系统与 P ² DR 模型	357
8.4 同步数字体系	326	9.6.3 入侵检测系统模型	358
8.4.1 同步数字体系的基本概念	326	9.7 小结	359
8.4.2 同步数字体系的速率体系	327	9.8 思考题与习题	359
8.4.3 同步光纤网络的体系结构	328	第10章 IPv6 网络	362
8.5 小结	329	10.1 IPv6 协议概述	362
8.6 思考题与习题	329	10.1.1 IPv4 协议存在的问题	362
第9章 网络管理与网络安全	331	10.1.2 IPv6 协议的发展历程	363
9.1 网络管理	331	10.2 IPv6 协议格式	364
9.1.1 网络管理概述	331	10.2.1 IPv6 协议数据单元	364
9.1.2 网络管理协议	332	10.2.2 IPv6 协议与 IPv4 协议的 比较	366
9.1.3 网络管理模型	332	10.2.3 IPv6 协议的扩展首部	367
9.1.4 网络管理代理	334	10.3 IPv6 地址	368
9.1.5 网络管理站和 SNMP 规定的 操作	334	10.3.1 IPv6 地址标识方法	368
9.1.6 简单网络管理协议	335	10.3.2 IPv6 地址空间和 IPv6 前缀	370
9.1.7 管理信息结构	337	10.3.3 IPv6 地址的分类	370
9.2 网络安全	337	10.3.4 IPv6 地址的一般格式	371
9.2.1 网络安全概述	337	10.4 ICMPv6	372
9.2.2 网络安全面临的威胁	339	10.4.1 ICMPv6 概述	372
9.2.3 网络安全层次划分	340	10.4.2 ICMPv6 对 ICMPv4 的改进	372
9.2.4 网络安全评价标准	341	10.4.3 ICMPv6 报文的一般格式	374
9.3 数据加密技术	342	10.5 IPv6 过渡技术	374
9.3.1 网络安全模型	342	10.5.1 IPv6 过渡技术概述	374
		10.5.2 双栈技术	375

第 1 章 计算机网络概述

本章学习内容及要求

计算机网络是信息社会的基础设施，计算机网络已经改变了人们学习、工作和生活的方 式。对计算机网络知识的学习和掌握程度，已经成为衡量一个人知识水平的重要依据。人们 会问计算机网络的内部组成和结构是怎样的，在计算机网络中计算机之间是通过什么进行通 信的，人们通过计算机网络还能够获得哪些应用，计算机网络的发展趋势是怎样的，学习的 计算机网络知识怎样与人们身边的网络相联系。

计算机网络知识涉及计算机网络的理论、技术与应用。学习知识要知其然，更要知其所以 然，需要了解计算机网络的发展和历史，计算机网络发展过程中有哪些重要的里程碑事件。进 一步了解计算机网络的组成涉及哪些网络硬件和网络软件，有哪些结构形式和描述方法，涉及 哪些技术术语，这些术语又怎样理解。此外，还包括计算机网络的分类方法，计算机网络的定 义和描述方法，网络体系结构层次和网络协议与人们日常工作和生活中的通信怎样联系。

计算机网络的发展离不开标准化，需要了解国际上有哪些与计算机网络有关的标准组 织，这些组织制定了哪些与计算机网络有关的标准。尤其是 Internet 标准是什么，怎样得到 这些标准内容。

通过本章的学习，要求了解计算机网络的形成和历史、典型的计算机网络、与计算机网 络有关的国际组织和国际标准，以及计算机网络目前应用和研究的热点问题。掌握计算机网 络的定义、计算机网络的组成和结构、计算机网络的分类方法和常用的拓扑结构。熟悉计算 机网络的常用术语。

1.1 计算机网络技术的发展历程

1.1.1 计算机网络的发展与形成

计算机网络技术是计算机技术和通信技术相结合的技术，计算机技术和通信技术又离不 开微电子技术的支撑。计算机网络从 20 世纪 60 年代出现，到 20 世纪 70 年代、80 年代兴起 和发展，直到 20 世纪 90 年代大发展。进入 21 世纪以后，计算机网络技术已经成为信息社 会的基础设施，深入到人类社会的方方面面，与人们的工作、学习和生活息息相关。任何一 门科学技术发展的动力都是来自社会的需要，以及已有技术的支持。回顾人类社会通信技术、计算机技术和计算机网络技术发展的历程，以及涉及的其他技术，对理解计算机网络 技术的形成和发展很有帮助。

1837 年发明了电报，1876 年出现电话，两者都采用电磁技术，人类社会进入近代电信 时代。

1906 年发明了电子管，1912 年研制成功电子管放大器，揭开了现代电子技术的序幕。

1930 年，微波通信开始应用。

1946 年，世界上第一台计算机研制成功，计算机技术开始应用。

1947 年 12 月 23 日，研制成功世界上第一个晶体管，半导体技术即微电子技术开始应用。微电子技术的产品构成了电子工业的食粮。

1949 年提出 PN 结理论，1950 年研制出具有 PN 结的晶体管，1959 年研制出硅平面管，发明集成电路，之后根据摩尔定律，集成电路的集成度每 18 个月翻一番。到 2002 年，研制生产的超大规模集成电路 VLSI，在一个拇指指甲盖大小的面积上可集成近 1 亿个晶体管。

1962 年，第一颗人造地球通信卫星发射成功，卫星上的转发器使用微波与地面通信站进行通信，卫星通信开始应用。

1966 年，英国国家物理实验室完成第一个分组交换实验网。

1969 年，美国国防部高级研究规划署（Advanced Research Project Agency, ARPA）建成 ARPANET，ARPANET 的建成是计算机网络技术发展的里程碑。ARPANET 现在已经演变为因特网（Internet）。1990 年，ARPANET 退出使用。

1972 年，美国施乐公司开发出以太网技术（Ethernet），用于组建局域计算机网络，揭开了组建局域计算机网络的序幕。

1974 年，TCP/IP 协议正式发表。1983 年，TCP/IP 协议成为 ARPANET 上正式的网络协议。在 1985 年和 1988 年对 TCP/IP 协议进行了修改和补充。

1974 年，IBM 公司提出系统网络体系结构（System Network Architecture, SNA）。

1975 年，Zilog 公司生产出 Z80 芯片。

1975 年，DEC 公司宣布自己的数字网络体系结构（Digital Network Architecture, DNA）。

1976 年，UNIVAC 公司宣布自己的分布式通信体系结构（Distributed Communication Architecture, DCA）。

1976 年，CCITT 制定 X.25 建议书，该建议书是用于传输计算机数据的分组交换网的一个标准。CCITT 目前由 ITU-T 替代。

1977 年，国际标准化组织（ISO）的 SC16 分技术委员会开始着手制定开放系统互连参考模型（Open System Interconnection/Reference Model, OSI/RM）。

1977 年，美国苹果计算机公司推出 Apple-II，8 位微型计算机。半导体技术的发展，超大规模集成电路的研制使得微型计算机的研制成为可能，微型计算机的出现使得计算机的普及成为可能。

1980 年 2 月，美国 IEEE 制定出局域计算机网络的的标准，称为 IEEE 802 标准。之后，IEEE 802 标准成为系列标准，包括城域网、无线局域网等的标准，随着局域网的应用需求和技术发展，IEEE 802 标准系列一直在补充新的标准。

1981 年，美国 IBM 公司的个人计算机（PC）问世。IBM 公司采取开放微机操作系统 PC-DOS 源代码的措施，使得各计算机厂商生产出与之兼容的计算机产品，磁盘操作系统（DOS）使用命令行工作方式。之后 PC 兼容机大量生产出来，进一步有了把 PC 和大型计算机互连起来，以及使 PC 之间、PC 和大型机之间可以相互通信、共享资源的需求，使得局域计算机网络迅速发展起来。同时，又产生了把多个网络互连起来的需求，互联网异军突起。

1981年，国际学术网络（Because It's Time Network, BITNET）启用。

1982年，定义出电子邮件格式。1990年以后，电子邮件成为计算机网络中最广泛的应用之一。

1982年，SUN公司研制出计算机工作站，使用Space/Saloris操作系统平台。此后，学术界和教育界广泛使用微型计算机和UNIX操作系统。

1983年，国际标准化组织（ISO）给出开放系统互连（OSI）基本参考模型的正式文件，国际标准号为ISO7498，用于提供研制计算机网络体系结构的框架，使得不同厂家按照OSI设计的产品能够很好地互连起来，实现彼此的开放。

1983年，ARPANET分为两部分，即军事用途的MILNET和一般用途的Internet（互联网）。

1984年，美国苹果计算机公司研制出用于苹果微型计算机的图形用户界面（GUI）操作系统Macintosh。这是世界上第一个GUI的操作系统，可以更加方便用户使用计算机，鼠标成为自键盘之后主要使用的输入工具。之后，微软公司的GUI操作系统——Windows操作系统研制成功，并成为最广泛使用的主流操作系统。

1984年，DEC公司研制出PDP、VAX系列超级小型计算机，DEC公司代表了世界超级小型计算机的研究方向。

1985年，美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）利用ARPANET建立了用于科学研究和教育的骨干网络（NSFNET）。

1987年9月20日，钱天白教授通过意大利公用分组交换网在北京发出了我国第一封电子邮件，与德国卡鲁斯尔厄大学进行通信，揭开了我国使用Internet的序幕。

1989年，CCITT给出用于宽带综合业务数字网B-ISDN的I系列建议书，异步传输模式（ATM）技术成为21世纪的计算机网络技术，ATM网络技术主要用于在一个计算机网络中传输多媒体信息。

1990年，欧洲粒子物理研究所（CERN）的科学家为了在计算机网络上传输和浏览科学报告和论文，研制利用超文本传输协议（HTTP）、超文本标记语言（HTML）和超链接（HyperLink）技术实现WWW，WWW标志着Internet应用时代的到来。

1990年，ARPANET退出使用，演变为Internet。之前，ARPANET与NSFNET构成Internet的主干网络。

1990年，芬兰赫尔辛基大学学生Linus Torvalds开发出Linux操作系统。Linux于1991年首次公布于众，Linux是一个源代码开放、共享和免费的操作系统软件。

1990年10月，我国正式在DDN-NIC注册登记了顶级域名。同年推出我国的域名体系。

1991年，CERN的科学家提姆·伯纳斯李（Tim Berners-Lee）开发出了万维网（World Wide Web）和简单的浏览器（浏览软件）。

1991年，IETF开始着手研制新一代网络协议，称为下一代IP协议（IPng）。

1992年，Internet学会成立，该学会把Internet定义为“组织松散的、独立的国际合作互联网络”，“通过自主遵守计算协议和过程支持主机对主机的通信”。

1993年，美国伊利诺斯大学国家超级计算中心开发成功网上浏览工具Mosaic（后来发展成为Netscape），使得各种信息可以方便地在网上交流。

1993年，美国政府提出建设国家基础信息设施（NII）计划，即国家信息高速公路建

设。Internet 基本建成,开始得到广泛应用。

1994 年,我国通过美国 Sprint 公司连入 Internet,开始提供国内用户接入 Internet 的服务,数据传输率 64 Kbit/s。我国政府开始实施“三金工程”。中国教育和科研计算机网络(CERNET)开始建设,中国国家教育委员会启动“211 工程”建设。

1995 年, IETF 推出 IPv6, 给出 IPv6 协议规范的建议标准。

1996 年 7 月和 1997 年 1 月先后发布 IPv6 协议版本 2 和版本 2.1 的草案标准。

1998 年 12 月发布 IPv6 协议标准 RFC 2460。1999 年完成 IETF 要求的协议审定和测试。

1998 年,千兆以太网研制成功。SGI 给出用于 WLAN 的蓝牙技术标准。

2001 年,7 月,思科(Cisco)宣布与微软、IBM、惠普、SUN 和摩托罗拉组成伙伴关系,开展 IPv6 软、硬件产品的开发。

2002 年,万兆以太网研制成功。

2003 年,美国国防部宣布到 2008 年美国军用网络系统将全部升级到 IPv6 网络。

2003 年,由国家发展与改革委员会等八部委联合启动中国下一代互联网示范工程(CNGI)。

2004 年 3 月,作为 CNGI 核心主干网络的 Cernet 2 实验网开通。2004 年 12 月, Cernet 2 正式开通,成为全球最大的纯 IPv6 网络。

2005 年 12 月,我国第一个下一代互联网国际/国内互联中心 CNGI-6IX 建成。

2007 年 7 月, IETF 发布我国第一个非中文相关的信息类互联网技术标准 RFC 4925 “Softwire Problem Statement”。

2008 年 5 月,北京 2008 奥运会 IPv6 官方网站开通,成为奥运史上第一个采用 IPv6 协议的官方网站。

2008 年 6 月, IETF 发布第一个以我国学者为主署名的下一代互联网核心技术国际标准 RFC 5210: A Source Address Validation Architecture (SAVA) Testbed and Deployment Experience。

2009 年 1 月, IETF 发布由华为公司和国内运营商共同署名提交的两个互联网技术标准 RFC 5316 和 RFC 5392,主要用于解决网络自治域间流量工程大规模部署和不同厂商互通的问题。

2009 年 6 月, IETF 发布由清华大学研究人员给出的互联网技术标准 RFC 5565 “Softwire Mesh Framework”。

2009 年 11 月 16 日,中国互联网络信息中心(CNNIC)在北京举行“. 中国”域名国际申请启动仪式,代表中国正式向互联网名字与编号分配机构(ICANN)递交了“. 中国”域名国际申请。

1.1.2 计算机网络发展的阶段

对于计算机网络技术发展阶段的划分,目前还没有定论。任何一门技术的出现和不断发展都与两个因素有关:一个是社会需求,另一个是前期技术的成熟和支撑。计算机网络发展的过程中出现了许多可以称为里程碑的技术,例如,数据通信技术用于计算机通信; ARPANET 网络建设; 分组交换技术; 开放网络体系结构设计; 网络协议标准化研究; 因特网(Internet)和高速网络技术研究; IPv6 网络技术等。

按计算机网络的发展历程,可以划分为 4 个阶段。

1. 联机终端网络

20 世纪 50 年代到 60 年代中期，当时计算机比较少，远程终端利用拨号和电话通信线路与计算机主机连接，多个终端共享主机的资源，构成联机终端网络。

联机终端网络的特征是一个主机，多个终端，以主机为中心，终端之间不能进行通信。若要严格按计算机网络定义来描述，这种联机终端网络实际上是一个计算机通信网，并不是真正的计算机网络。

2. 计算机-计算机网络

20 世纪 60 年代末期，随着计算机应用的推广，把分散在不同地点的计算机互连起来，使各计算机之间可以共享资源和传输数据，从而构成了计算机-计算机网络。计算机-计算机网络是符合计算机网络定义的系统，典型的网络实例为 1969 年建成的 ARPANET。ARPANET 标志着计算机网络发展的里程碑，这个网络最后演变成了现在的因特网（Internet）。ARPANET 的研究成果对促进计算机网络技术的发展和理论体系的建立产生了重要影响。

计算机-计算机网络的特征是多主机，网络设计采用分层的概念，把计算机网络的功能分到不同的层次，通信双方的对等层采用彼此能够听懂的对等层网络协议，把各层功能用网络控制协议实现，网络控制协议与传输数据一起构成协议数据单元（Protocol Data Unit, PDU）。采用分组交换技术，把传输的报文分成组，以适应计算机数据传输突发性的特点。这一阶段也称为分组交换网时代。计算机网络的组成包括两级子网，即用于通信控制、传输和通信处理的通信子网，以及用于数据处理的资源子网。计算机网络从第一阶段以主机为中心演变到以通信子网为中心。通信子网由访问节点、交换节点（路由器或交换机）和传输线路组成，资源子网由端节点（计算机、终端、大型数据库、网络打印机）组成。

3. 开放的计算机网络体系结构

从 20 世纪 70 年代末到 80 年代初期，不同的计算机厂商研制设计各自的网络体系结构和网络产品，例如，IBM 公司的系统网络体系结构 SNA，DEC 公司的 DECNET。按照某一公司的网络体系结构生产的计算机网络硬件、软件产品，只能在本公司生产的网络产品之间进行互连，无法与其他公司的网络产品互连。这些公司的网络产品组成的计算机网络系统形成了“封闭系统”。国际标准化组织（ISO）考虑到计算机网络发展需要制定一个大家都遵循的计算机网络参考模型框架，凡是按照这一框架生产的网络硬件和软件都可以互连起来。1983 年，ISO 给出了“开放系统互连参考模型”（Open System Interconnection Reference Model, OSI），OSI 给出 7 个层次描述，由低层向高层排列，依次为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。每一层完成特定的功能，不同系统中的同等层利用对等层协议通信。遵循 OSI 设计的计算机网络系统为“开放系统”。

在这一阶段，TCP/IP 协议有了长足的发展，成为 ARPANET 的正式协议，采用 IP 协议实现了异构计算机和异构计算机网络的互连。TCP/IP 协议逐步成为计算机网络事实上的工业标准。同时，TCP/IP 协议和 OSI 参考模型的研究与竞争，对计算机网络理论体系的形成，以及计算机网络技术应用具有重要的推动作用。

随着局域网技术的产生与发展，IEEE 开始制定用于局域网的 IEEE 802 标准，IEEE 802 系列标准后来还涉及城域网技术和无线网络技术。

4. Internet

Internet 中文译名为因特网，这一阶段的时间从 20 世纪 90 年代初到现在，计算机网络

的设计和应用得到迅速发展，信息化社会对计算机网络的迫切需求，已构成促进计算机网络技术发展的强大动力。人们通过计算机网络传输信息、共享信息、检索需要的信息已经成为日常工作、学习和生活不可缺少的组成部分，计算机网络已经渗透到社会的每个领域。Internet 采用超文本传输协议（HTTP）、简单电子邮件协议（SMTP）等应用层协议，从而使人们通过 Internet 浏览 Web 网页信息、发送电子邮件、上传和下载信息，通过 Internet 通信、学习、交友、娱乐、购物，真正实现了多媒体信息的传输、处理和共享。

计算机网络的基本技术发生了根本性的改变，高数据传输率、高带宽网络已经建立起来，异步传输模式、信元交换、光交换、光传输、移动网络、无线网络、Java 网络编程语言、千兆以太网等新技术大量涌现出来。Internet 信息膨胀，又促进了网络信息检索技术，以及 P2P 技术、信息安全技术、网格技术、网络存储技术和云计算技术的发展。

人们之间的通信“距离”在缩小，通信形式多样化，音频、视频信息可以方便地通过 Internet 传输和处理。计算机网络的发展又极大地促进了信息社会的发展。计算机网络已经成为人类历史上发展最为迅速和成功的技术。

Internet 的应用经历了 3 种服务：接入服务，由 Internet 服务提供商（Internet Service Provider, ISP）提供；内容服务，由 Internet 内容供应商（Internet Content Provider, ICP）提供；应用服务，由 Internet 应用供应商（Internet Application Provider, IAP）提供。进入到 20 世纪 90 年代中期以后，Internet 2 的研究开始进行。进入 21 世纪以后，IPv6 技术的研究越来越受到重视，IPv6 网络已经研制成功并投入使用。IPv6 技术已经成为下一代 Internet（NGI）和下一代电信网络（NGN）所采用的技术。

1.1.3 计算机网络的定义

1. 计算机网络

在计算机网络发展的不同阶段，人们对计算机网络的定义和理解是不同的，这些理解和描述也反映了对网络技术的认识程度，以及当时网络技术发展的水平。最初的联机终端网络是从数据传输的观点来认识计算机网络的，后来逐步发展到以资源共享观点，明确建立计算机网络的主要目的是实现资源共享、计算机网络中的计算机是自治的、各计算机之间的通信需要遵循彼此约定的协议，从而逐步形成计算机网络的基本特征。

对计算机网络的定义有多种描述，依据计算机网络的特征，给出计算机网络的定义是：计算机网络是通过传输介质、通信设施和网络通信协议，把分散在不同地点的计算机设备互连起来，实现资源共享和数据传输的系统。计算机网络的组成和连接如图 1-1 所示。

在上述计算机网络的定义中，涉及 7 个知识点：①传输介质；②通信协议；③不同地点；④计

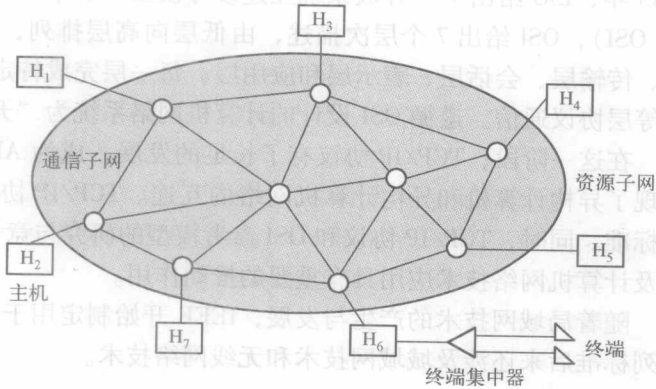


图 1-1 计算机网络的组成和连接