



高等学校计算机教材



新编

# 计算机网络

© 易睿得 主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校计算机教材

# 新编计算机网络

易睿得 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

1080251

## 内 容 简 介

本书从当前最新计算机网络的实际出发,介绍计算机网络的基本原理。主要包括五个部分,第一部分介绍计算机网络概述和计算机网络基础;第二部分为网络构建,包括以太网和无线网,并以此为基础,介绍网络互联和构建因特网;第三部分介绍在因特网上的数据传输;第四部分为因特网的应用,包括基本应用和多媒体应用;第五部分介绍网络安全。实验操作电子稿通过出版社网站提供,以供教学选择。

本书把丰富繁杂的计算机网络知识融入当前主要的计算机网络的展现之中,内容讲解一步一个台阶,文字说明力求简单明了,图文结合,许多图在参考文献的基础上进行了创新,使其不但精美,而且简单易懂。其编写目标就是使读者愿意看、看得懂,能够形成系统,本书配有教学课件、习题、实验,方便教和学。

本书可作为大学本科、高职高专计算机网络课程教材或教学参考书。请广大高校师生进行比较选择。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

新编计算机网络/易睿得主编. —北京:电子工业出版社,2012.11

高等学校计算机教材

ISBN 978-7-121-18527-4

I. ①新… II. ①易… 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(2012)第222261号

策划编辑:郝黎明

责任编辑:周宏敏

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26.75 字数:692千字

印 次:2012年11月第1次印刷

印 数:3000册 定价:49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。  
服务热线:(010)88258888。

# 前 言

随着因特网的快速发展, 计算机网络课程的地位日益突显。开设计算机网络课程的专业很多, 但学生的基础各有差异, 教师当然希望找到适合的教材, 然而可供教师选择的计算机网络教材相当有限。为此, 我们以当前最新的计算机网络技术为前提, 参考目前国内比较优秀的计算机网络教材和有关资料, 在总结多年计算机网络教学和科研实践的基础上, 结合学校的实际情况经过较长时间思考、总结和实践编写而成。本书具有如下特点。

## 1. 台阶式内容安排

(1) 首先一般性地介绍广域网、城域网、局域网, 然后重点介绍计算机网络公共基础、以太网、无线网, 并将物理层和数据链路层有关内容的介绍融入其中。

(2) 以 TCP/IP 协议为平台, 介绍网络互联, 将网络层介绍融入其中, 并以此为基础介绍因特网, 包括因特网构建和 ISP、自治系统、因特网接入等。

(3) 以因特网为基础, 介绍网络数据传输过程和运输层提供的 3 个服务。

(4) 以运输层服务为基础, 介绍因特网提供的常用应用层服务和多媒体服务。

(5) 在网络安全基本原理的基础上, 介绍网络层、运输层和应用层安全的具体实现。

## 2. 新内容、新方法和系统性

(1) 把计算机网络多而杂的知识有机地组织起来, 形成系统。

(2) IPv6、ICMPv6、移动 IP 协议、移动 Web、移动终端接入、流数据传输等内容既相对独立, 又融入其中。

(3) 文字说明比较简练, 有利于学生掌握重点。表达内容图文并茂, 更有利于学生理解内容。

(4) 不过多地堆积数据, 必要数据让学生能够理解。

## 3. 可以执行不同教学方案

(1) 讲解本书的全部内容, 选择出版社网站提供的网络实验。

(2) 讲解本书的部分内容, 选择讲解下列内容:

第 6 章网络互联进阶;

8.4 节流数据传输协议: SCTP;

8.5.3 数据传输编程;

8.5.4 UDP 通信编程;

8.5.5 TCP 通信编程。

(3) 讲解本书的部分内容, 在 (2) 的基础上选择讲解下列内容:

第 10 章网络多媒体;

第 11 章网络安全。

本书配备教学课件和习题, 同时还通过网络配备实验, 需要者可在华信教育资源网(网

址为 [www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)) 免费下载。

本书由易睿得主编，参加本套丛书编写的还有梁敬东、顾韵华、王洪元、刘启芬、丁有和、曹弋、徐文胜、殷红先、张为民、姜乃松、彭作民、高茜、陈冬霞、钱晓军、朱毅华、时跃华、周何骏、赵青松、周淑琴、陈金辉、李含光、王一莉、徐斌、王志瑞、孙德荣、周怡明、刘博宇、郑进、刘毅、刘有春等。

由于作者水平有限，不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2012.10



2.5.1	数字信号编码	41
2.5.2	模拟信号数字化: PCM	42
2.6	多路复用技术	44
2.6.1	多路复用的基本概念	44
2.6.2	时分多路复用: TDM	44
2.6.3	频分多路复用: FDM	45
2.6.4	波分多路复用: WDM	46
2.6.5	码分多址复用: CDMA	47
2.7	同步光纤网与同步数字体系	48
2.7.1	基本速率标准: Tx/Ex	48
2.7.2	SDH 速率体系	49
<b>第3章</b>	<b>以太网</b>	<b>51</b>
3.1	以太网的发展和网卡	51
3.2	总线形以太网	53
3.2.1	基本组成与工作原理	53
3.2.2	数据传输的基本单元: MAC 帧	53
3.2.3	总线以太网扩展: 中继器	55
3.2.4	发送和接收数据: CSMA/CD 协议	56
3.3	共享以太网	60
3.3.1	集线器及其传输介质	60
3.3.2	网络的拓扑	61
3.3.3	集线器的级联	62
3.4	网桥	63
3.5	交换式以太网	65
3.5.1	以太网交换机	66
3.5.2	虚拟局域网	68
3.6	快速以太网	69
3.7	千兆以太网	70
3.8	万兆以太网 (10GE)	73
3.9	十万兆以太网 (40/100GE)	76
<b>第4章</b>	<b>无线网</b>	<b>77</b>
4.1	无线网络	77
4.1.1	无线网络介绍	77
4.1.2	无线局域网	78
4.2	无线局域网的拓扑结构	79
4.2.1	基本结构	79
4.2.2	无线局域网组成	80
4.3	无线局域网物理层技术	82
4.3.1	802.11 原始标准	82

151	4.3.2 主流 WLAN 的物理层	83
151	4.4 无线局域网扩展	85
151	4.4.1 基本结构扩展	85
150	4.4.2 无线局域网的运行	86
130	4.4.3 无线局域网交换机	86
130	4.4.4 无线网桥	87
131	4.5 无线局域网 MAC 协议: CSMA/CA	88
132	4.5.1 设计思路	89
131	4.5.2 802.11 的 MAC 层	89
131	4.5.3 CSMA/CA 协议原理	90
130	4.5.4 802.11 局域网的 MAC 帧	94
140	4.6 宽带无线城域网	96
141	4.6.1 802.16 与 802.11 和 3G 的比较	96
141	4.6.2 802.16 体系结构与协议栈	97
143	4.6.3 802.16 物理层	97
144	4.6.4 802.16 MAC 子层协议	99
144	4.6.5 802.16 帧结构	100
141	4.7 蓝牙	100
148	4.8 RFID	103
148	4.8.1 电子产品码 (EPC)	103
150	4.8.2 工作原理	104
151	4.8.3 标签标识消息格式	104
	<b>第 5 章 网络互联</b>	<b>106</b>
152	5.1 实现互联的思路	106
151	5.1.1 网络互联	106
150	5.1.2 互联设备: 路由器	107
151	5.1.3 网际层 IP 协议及配套协议	107
158	5.2 IP 地址	108
158	5.2.1 分类	108
160	5.2.2 网络的 IP 地址	109
161	5.2.3 特殊 IP 地址	111
161	5.2.4 传统分类 IP 的弊端	112
163	5.3 子网	113
160	5.3.1 划分子网	113
161	5.3.2 子网掩码	114
157	5.4 无分类编址和地址聚合	116
154	5.4.1 无分类编址	116
151	5.4.2 地址聚合	119
151	5.5 IP 数据报	121



28	5.5.1 格式	121
28	5.5.2 分片	123
28	5.5.3 选项	125
28	5.5.4 首部检验和	129
28	5.6 IP 地址映射	130
28	5.6.1 IP 地址与物理地址	130
28	5.6.2 地址映射与 ARP 协议	132
28	5.7 IP 分组转发	135
28	5.7.1 分组转发方法	135
28	5.7.2 传统分类编址时的转发	137
28	5.7.3 使用无分类编址时的转发	139
28	5.7.4 ISP 多级路由选择	140
28	5.8 网际控制报文协议: ICMP	141
28	5.8.1 ICMP 报文	141
28	5.8.2 ICMP 的应用举例: Ping	143
28	5.9 IP 多播	144
28	5.9.1 单播和多播	144
28	5.9.2 多播地址	146
28	5.9.3 数据链路层多播分组的交付	148
28	5.9.4 IGMP 协议和多播路由选择协议	149
28	5.9.5 IGMP 报文	150
28	5.9.6 路由选择协议	153
28	<b>第 6 章 网络互联进阶</b>	<b>155</b>
28	6.1 移动 IP 协议	155
28	6.1.1 代理机制	156
28	6.1.2 代理发现	156
28	6.1.3 注册	157
28	6.1.4 数据传送	158
28	6.2 IPv6	159
28	6.2.1 IPv6 地址	160
28	6.2.2 单播、任播、多播和广播	161
28	6.2.3 地址空间分配	162
28	6.2.4 指派和保留地址块	163
28	6.2.5 自动配置和重新编号	166
28	6.2.6 分组结构与基本首部	167
28	6.2.7 IPv4 到 IPv6 的过渡	173
28	6.3 ICMPv6	174
28	6.3.1 差错报文	175
28	6.3.2 信息报文	176

085	6.3.3	邻站发现报文	176
085	6.3.4	组成员关系报文	178
085	<b>第7章</b>	<b>因特网</b>	<b>181</b>
085	7.1	因特网的组成	181
085	7.1.1	因特网的结构和组成	181
085	7.1.2	因特网在中国	183
085	7.1.3	宽带城域网	186
085	7.2	ISP 和自治系统	187
085	7.2.1	自治系统和网关协议	188
085	7.2.2	内部网关协议: 路由信息协议 (RIP)	188
085	7.2.3	内部网关协议: 开放最短路径优先 (OSPF)	191
085	7.2.4	外部网关协议: BGP-4	195
085	7.3	因特网接入	198
085	7.3.1	ADSL 接入	198
085	7.3.2	HFC 接入	200
085	7.3.3	光纤接入	201
085	7.3.4	移动终端接入	203
085	7.4	本地网络接入与通信	204
085	7.4.1	网络地址转换 (NAT)	204
085	7.4.2	虚拟专用网 (VPN)	206
085	<b>第8章</b>	<b>数据传输</b>	<b>210</b>
085	8.1	传输层	210
085	8.1.1	传输层功能	210
085	8.1.2	应用进程标识	211
085	8.1.3	无连接的和面向连接的服务	211
085	8.1.4	复用和分用	213
085	8.1.5	传输层主要协议	214
085	8.2	不可靠数据传输: UDP	214
085	8.2.1	UDP 数据报格式	214
085	8.2.2	UDP 的特点	215
085	8.2.3	UDP 应用	216
085	8.3	可靠数据传输: TCP	217
085	8.3.1	TCP 报文段	217
085	8.3.2	TCP 传输连接和释放	221
085	8.3.3	TCP 缓存和窗口	223
085	8.3.4	TCP 流量控制	225
085	8.3.5	打开和关闭窗口	225
085	8.3.6	糊涂窗口综合征	227
085	8.3.7	差错控制	229

871	8.3.8	拥塞控制	230
871	8.3.9	应用说明	233
181	8.4	流数据传输协议: SCTP	233
181	8.4.1	分组格式	233
181	8.4.2	通用首部	234
181	8.4.3	块	234
181	8.4.4	SCTP 关联	240
181	8.4.5	数据传送	241
181	8.4.6	关联终止	243
181	8.4.7	状态转换图	244
181	8.4.8	流量控制	245
181	8.4.9	差错控制	247
181	8.4.10	拥塞控制	250
181	8.5	数据传输	251
181	8.5.1	客户/服务器方式	251
181	8.5.2	服务器的两种工作方式	252
181	8.5.3	数据传输编程	253
181	8.5.4	UDP 通信编程	259
181	8.5.5	TCP 通信编程	262
	<b>第 9 章</b>	<b>因特网基本应用</b>	<b>267</b>
181	9.1	概述	267
181	9.1.1	因特网应用发展的三个阶段	267
181	9.1.2	应用层协议	267
181	9.2	域名系统: DNS	269
181	9.2.1	名字空间	269
181	9.2.2	域名服务器	273
181	9.2.3	域名解析	275
181	9.2.4	DNS 报文	278
181	9.2.5	记录类型	280
181	9.3	动态 IP 地址分配: DHCP	284
181	9.3.1	主机配置	284
181	9.3.2	分组格式	286
181	9.3.3	工作过程	288
181	9.4	万维网系统: HTTP	290
181	9.4.1	基本组成	291
181	9.4.2	工作过程	292
181	9.4.3	HTTP	292
181	9.4.4	持续连接	298
181	9.4.5	Cookie	299

9.4.6	动态万维网文档	301
9.4.7	代理服务器	302
9.5	移动 Web	303
9.6	因特网邮件系统: SMTP	306
9.6.1	电子邮件系统	306
9.6.2	报文传输协议: SMTP	308
9.6.3	邮件传输	310
9.6.4	报文读取: POP 和 IMAP	313
9.6.5	多用途因特网邮件扩充: MIME	314
9.6.6	基于万维网的邮件	318
9.7	文件传输协议: FTP	319
9.7.1	创建连接	320
9.7.2	通信	320
9.7.3	命令处理	321
9.7.4	文件传输	324
9.7.5	匿名 FTP	327
9.7.6	简单文件传输协议: TFTP	328
9.8	远程登录协议: TELNET	331
9.8.1	网络虚拟终端: NVT	331
9.8.2	远程登录原理	331
9.8.3	数据字符和控制字符	332
9.9	简单网络管理协议: SNMP	334
9.9.1	网络管理的基本概念	334
9.9.2	管理信息结构: SMI	336
9.9.3	管理信息库: MIB	339
9.9.4	SNMP 协议数据单元和报文	340
<b>第 10 章</b>	<b>网络多媒体</b>	<b>344</b>
10.1	多媒体	344
10.1.1	数字化音频和视频	344
10.1.2	音频和视频压缩	345
10.2	网络多媒体传输	345
10.2.1	流式存储音频/视频	346
10.2.2	流式直播音频/视频	348
10.2.3	实时交互式音频/视频	348
10.3	实时传输协议	350
10.3.1	RTP	350
10.3.2	RTCP	351
10.4	IP 语音	352
10.4.1	SIP	352

10E	10.4.2	H.323	354
00E	10.5	服务质量	356
80E	10.5.1	流的特性	356
80E	10.5.2	提高 QoS 的技术	356
80E	10.5.3	综合服务	359
80E	10.5.4	区分服务	362
第 11 章	网络安全		364
81E	11.1	网络安全和威胁	364
81E	11.2	报文保密性: 对称密钥密码体制	366
81E	11.2.1	对称密钥密码体制	366
81E	11.2.2	DES 对称密钥密码体制	366
05E	11.2.3	对称密钥协商	367
05E	11.2.4	密钥分配中心: KDC	367
15E	11.2.5	KDC 生成会话密钥	368
85E	11.3	报文保密性: 不对称密钥加密法	369
85E	11.3.1	不对称密钥加密法	369
85E	11.3.2	不对称密钥加密系统: RSA	370
1E8	11.3.3	公钥分配	370
1E8	11.4	报文完整性: 采用报文摘要	371
1E8	11.5	报文鉴别: 防伪造	372
0E8	11.5.1	报文鉴别码	372
0E8	11.5.2	数字签名	373
0E8	11.6	实体鉴别	375
0E8	11.6.1	实体和验证	375
0E8	11.6.2	实体验证	375
04E	11.7	网络层安全	377
04E	11.7.1	两种方式	377
04E	11.7.2	IPSec 安全协议	378
04E	11.7.3	虚拟专用网应用	379
24E	11.8	运输层安全	380
24E	11.8.1	SSL 的体系结构	380
24E	11.8.2	4 个协议	382
84E	11.9	应用层的安全	383
84E	11.9.1	电子邮件的安全	383
02E	11.9.2	相当好的保密 (PGP)	384
02E	11.9.3	S/MIME	385
12E	11.10	防火墙: 防止非法接入	388
02E	11.10.1	分组过滤防火墙	388
02E	11.10.2	代理防火墙	389

习题 .....	390
第 1 章 计算机网络概述 .....	390
第 2 章 网络基础 .....	391
第 3 章 以太网 .....	393
第 4 章 无线网 .....	395
第 5 章 网络互联 .....	396
第 6 章 网络互联进阶 .....	400
第 7 章 因特网 .....	402
第 8 章 数据传输 .....	403
第 9 章 因特网基本应用 .....	407
第 10 章 网络多媒体 .....	410
第 11 章 网络安全 .....	410
实验 (内容在 <a href="http://www.hxedu.com.cn">www.hxedu.com.cn</a> 上免费下载)	
实验 1 网络介质	
实验 2 交换机与 VLAN	
实验 3 路由器基本配置	
实验 4 路由器及其动态路由协议	
实验 5 路由器 DHCP 与 NAT 配置	
实验 6 访问控制列表 ACL 配置	

# 第 1 章

## 计算机网络概述

### 1.1 计算机网络和因特网的产生与发展

回顾计算机网络技术发展的历程，大致可以划分为以下 4 个阶段。

第一阶段：20 世纪 50 年代，计算机网络开始形成。

1837 年，莫尔斯发明了电报；1876 年，贝尔发明了电话；同年，马可尼发明了无线电通信。这些发明都为现代通信技术奠定了重要的基础。1946 年，世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 出现。但是，在很长的一段时间内，通信技术与计算机技术之间并没有直接联系，处于独立发展的阶段。

20 世纪 50 年代初，美国军方提出将远程雷达信号、机场与防空部队的信息，通过无线、有线线路与卫星信道传送到位于美国本土的一台 IBM 计算机进行处理的要求，这项称为半自动地面防空系统（SAGE）的研究开始了计算机技术与通信技术结合的尝试。随着 SAGE 系统的实现，美国军方又考虑将分布在不同地理位置的多台计算机通过通信线路连接成网络的需求。

第二阶段：20 世纪 60 年代，ARPANET 的研究和成功，实现了分组交换网。

1960 年前，美国军方的通信主要依靠电话交换网，但电话交换网是以每个地区的电话局的交换机为中心组成的星形结构，如果一台交换机或连接交换机的一条中继线路损坏，尤其是几个关键长途电话局交换机遭到破坏，就有可能导致整个电话网络通信的中断。

20 世纪 60 年代中期，出于“冷战”的需要，美国军方成立了美国国防部高级研究计划署（ARPA 或 DARPA）。为了与苏联的军事力量竞争，美国军方认为需要一个专门用于传输军事命令与控制信息的网络。要求该网络在遭到核战争或自然灾害时，在部分网络设备或通信线路遭到破坏的情况下，网络系统仍能利用剩余的网络设备与通信线路继续工作。利用传统的通信线路与电话交换网当然无法实现。针对这种情况，DARPA 开始着手组织新型通信网络技术的研究工作。

1967 年，ARPA 提出了连接一些小网络 ARPANET 的思想。每一个主机（不一定是同一个厂家生产的）可以连接到称为接口报文处理机（IMP）的特殊计算机上。这些 IMP 则可以依次地互相连接起来。每一个 IMP 能够和其他的 IMP 通信，也可以和它连

接的主机通信。这样，ARPANET 分为两部分：通信子网与资源子网，如图 1.1 所示。

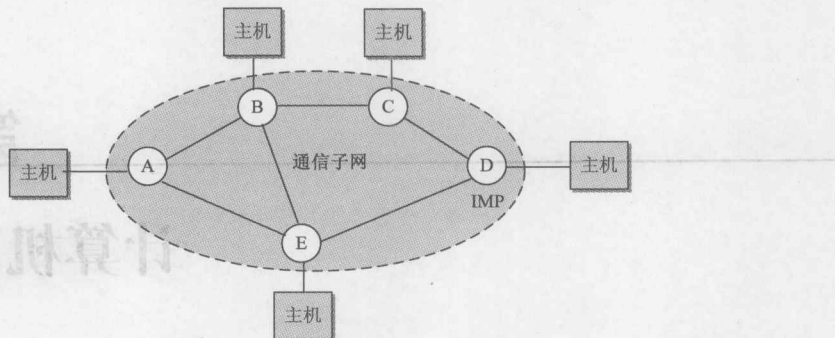


图 1.1 通信子网与资源子网

到了 1969 年，ARPANET 已经成为现实，4 个结点通过 IMP 连接成网络。这 4 个结点是：加州大学洛杉矶分校（UCLA）、加州大学 Santa Barbara 分校（UCSB）、斯坦福研究院（SRI）和犹他（Utah）大学。ARPANET 采用分布式网络结构和分组交换技术进行数据传输的设计思想，并据此构建了分组交换网。

第三阶段：20 世纪 70 年代中期，因特网（Internet）开始形成。

在这个时期，国际上各种广域网、局域网与公用分组交换网技术发展迅速，各个计算机生产商纷纷发展自己的计算机网络，提出了各自的网络协议标准。

1972 年，ARPANET 核心组的成员 Vint Cerf 和 Bob Kahn 共同开展一个研究项目，称为“网络互联项目”。他们希望将不同的网络连接起来，使得一个网络上的主机可以和另一个不同网络上的主机通信。1973 年，提出实现网络互联的传输控制协议（TCP）和网络互联的设备（称为网关），通过它把分组从一个网络传送到另一个网络。

1977 年 10 月，由 3 个不同网络（ARPANET、分组无线电网、分组卫星网）组成的互联网成功问世了，使网络之间的通信成为可能，并且将原来的 TCP 划分成两个协议：传输控制协议（TCP）和网际协议（IP）。IP 处理数据报的路由选择，而 TCP 负责高层的一些功能。这个新的组合称为 TCP/IP。

1981 年，美国国家科学基金会（NSF）资助创建 CSNET 网络，它由一些大学设计。由于这些大学和军方（DARPA）并没有联系，因此无法加入到 ARPANET。CSNET 是比较便宜的网络，后来 CSNET 连接到 ARPANET 和第一个商用分组交换网 Telenet 上。到了 20 世纪 80 年代中期，许多大学、一些组织和公司网络都通过 TCP/IP 连接到 CSNET 上。

1986 年，NSF 出资建造了 NSFNET，它是连接了分布在美国的 5 个超级计算机中心的主干网。许多团体的网络都可以接入到这个主干网，它使用 T1 线路，速率是 1.544 Mbps，因而提供了跨越整个美国的连通性。

1990 年，ARPANET 正式退役并被 NSFNET 所取代。

1991 年，美国政府断定 NSFNET 没有能力支持迅速增长的通信量。IBM、Merit 和 MCI 等 3 个公司填补了这个空白，组成了称为高级网络和服务（ANS）的非盈利机构，共同建造了称为 ANSNET 的新的因特网主干网。



第四阶段：20世纪90年代初开始，计算机网络出现了前所未有的大发展。具体表现在以下几个方面。

### 1. 因特网迅速扩展和快速发展

1991年，美国成立商业网络信息交换协会，允许在因特网上开展商务活动，各个公司逐渐意识到因特网在宣传产品、开展商业贸易活动上的价值，因特网上的商业应用开始迅速发展。

1993年9月，美国公布了国家信息基础设施(NII)建设计划，NII被形象地称为信息高速公路。各国政府开始认识到信息产业发展对经济发展的重要作用，很多国家开始制订自己的信息高速公路建设计划。1995年2月全球信息基础设施委员会(GIIC)成立，目的是推动与协调各国信息技术与信息服务业的发展与应用。

在这种情况下，各个国家都先后建立了国家主干网，这些国家主干网通过ANSNET接入因特网，使因特网规模不断扩大，用户不断增加，应用不断拓展。

### 2. 无线局域网和无线城域网快速发展

#### (1) 无线局域网的发展。

1987年，IEEE802.4组开始进行无线局域网的研究，由于最初确定的目标无法实现，1990年IEEE802委员会成立了新的802.11工作组，专门从事无线局域网的研究。

1997年，形成第一个无线局域网的标准802.11，规定了工作频段为2.4GHz，物理层采用扩频和红外实现方法，接入速率为1~2Mbps。

1999年，IEEE又制定了802.11b(2.4GHz, 11Mbps)和802.11a(5.8GHz, 54Mbps)物理层标准。

2003年，IEEE802.11工作组于7月正式批准了IEEE802.11g(2.4GHz, 54Mbps)标准。为了提升无线局域网的数据传输速率，实现有线以太网与无线局域网的无缝结合，从2003年起IEEE成立了IEEE802.11n工作小组，以制定一项新的高速无线局域网标准，该标准已于2009年获批。为了兼容以往的IEEE802.11b/a/g标准，IEEE802.11n被定义为双频工作模式，即包含2.4GHz和5.8GHz两个工作频段。最高速率为320~600Mbps。

#### (2) 无线城域网的发展。

1999年7月，IEEE成立了一个小组对宽带无线城域网进行标准化，该标准的序号为802.16。该技术被非正式称为全球微波接入互操作性(WiMAX)。第一个802.16标准于2001年12月获得批准，它采用视线链路传输，站位置固定。

2003年1月，802.16被修订成支持非视线链路传输，尽管站依然是固定位置的。随着3G蜂窝网络的崛起所带来的潜在高数据率和移动性威胁，802.16被再次改进，支持车辆速度的移动性，该标准于2005年12月发布。IEEE802.16-2009解决了移动宽带因特网接入的问题。

(3) 无线自组网、无线传感器网络的研究与应用受到了高度重视。

(4) 无线个人区域网得到了相应的发展。

### 3. 三网融合促进了宽带城域网的出现，进一步促进了因特网的发展

长期以来，我国的计算机网络、电信网与广播电视网3种网络由不同的部门管理，它