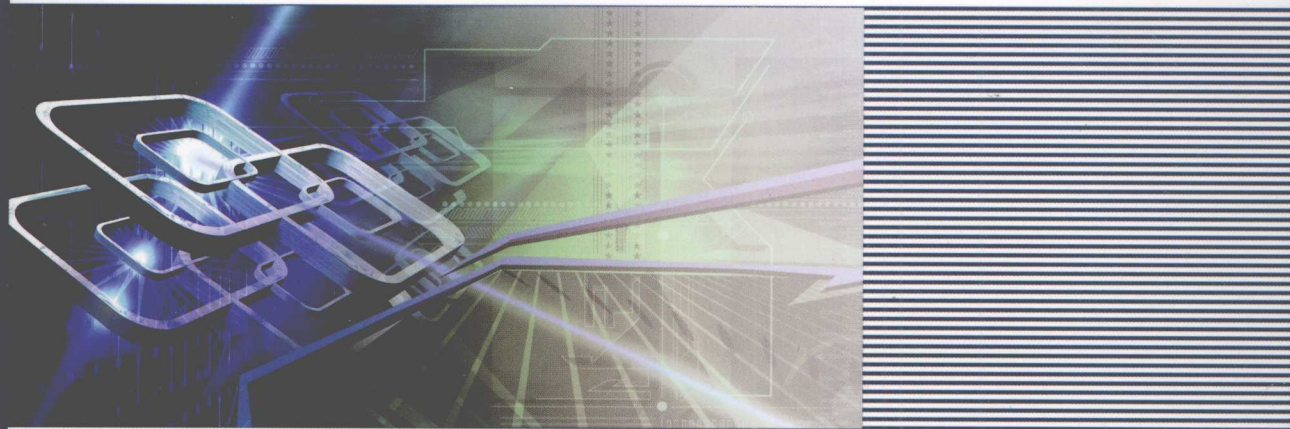


21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering



网络工程 概论

Network Engineering:
An Overview

雷震甲 编著

- 全面探讨网络工程专业各技术
- 把握专业正确学习方向和研究重点
- 为后续专业技术课程打下良好基础



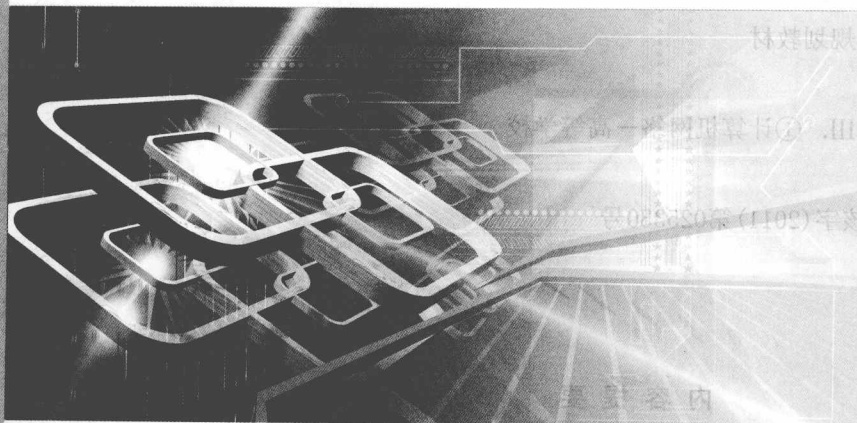
NLIC 2970668016



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering



网络工程 概论

Network Engineering:
An Overview

雷震甲 编著



NLIC 2970668016

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

网络工程概论 / 雷震甲编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2011.4
21世纪高等院校网络工程规划教材
ISBN 978-7-115-24853-4

I. ①网… II. ①雷… 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(2011)第025330号

内 容 提 要

本书对网络工程专业(本科)的各个技术分支进行了概括的介绍,但决不是肤浅的议论,而是对每门专业技术课程的核心内容进行了比较深入的讨论,并介绍了简单的应用实例,学完本书就可以操作和运行简单的网络了。在学习了计算机专业基础课程之后,概括地了解计算机网络基础知识和网络工程学科研究方向,可以对后续专业技术课程的学习起到指引和导向的作用。

本书内容完备,讲解细致,并配备了适量的习题,适合作为网络工程专业的本科教材,也适合作为大专层次的网络课程教材。

21 世纪高等院校网络工程规划教材

网络工程概论

- ◆ 编 著 雷震甲
责任编辑 刘 博
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.75
字数: 392 千字

2011 年 4 月第 1 版

2011 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-24853-4

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前 言

本书是为网络工程专业（本科）编写的教材。在学习了计算机专业基础课程之后，概括地了解计算机网络基础知识和网络工程学科研究方向是必要的，这样才会把握正确的学习方向和研究重点，从而在后续专业技术课程的学习中得到事半功倍的效果。

本书对网络工程专业的各个技术分支进行了全面的探讨。虽然是对各门专业技术课程的概括介绍，但决不是肤浅的议论，而是对每门课程的核心内容进行了深入的讨论，并列举了简单的应用实例，所以学完本书就可以操作和运行简单的网络了。如果要深入理解网络通信机理，操作大型复杂的互连网络，那就要认真学习后续的专业技术课程（计算机网络原理、网络操作系统、组网技术、网络安全等）了。

全书各章内容简要介绍如下。

第1章介绍计算机网络的基本概念，互联网的发展简史，以及计算机网络体系结构的基础知识。开放系统互连参考模型是网络技术的理论框架，初学者可能难以理解，但是在后续学习过程中还要经常回顾这些内容，才能体会到这些理论知识对本专业学习的指导意义。

第2章讲述 TCP/IP 网络，突出了网络层最主要的路由选择功能，这是理解互联网技术的核心知识。这一章也简单介绍了 IP 和 TCP 的基本概念，这些都是通常的网络操作中最重要知识和技能。

第3章讲述局域网基础知识，包括交换式以太网、虚拟局域网和无线局域网，另外还介绍了双绞线连网的操作技能。学习了这一章，就可以连接简单的局域网，并能进行网络的配置操作。建议结合本章内容进行相应的网络实验。

第4章讲述 Windows 网络的基础知识和操作技能。本章对网络服务器的简单介绍可以帮助读者深入理解计算机网络应用中遇到的各种问题，即使对一般的网络用户也是极其有用的。这一章要通过实际操作进行学习。

第5章讲述网络安全技术，包括密码学的基本概念（加密、认证和数字证书等）、虚拟专用网、防火墙，以及防治病毒的基础知识。为了理论联系实际，建议读者结合 Windows 系统进行实际操作，以便加深理解，学习解决实际问题的能力。

第6章介绍网络管理的理论和网络管理协议。本章中网络管理工具的应用实例和 SNMPc 系统都是网络操作实践中必要的实际技能，最好还是边学边练。这些技能对后续课程的学习是很有帮助的。

第7章介绍网络规划与设计，就是把软件工程方法应用于网络系统的研发，同时在网络结构设计中引入了综合性和拓展性的网络体系结构知识。要深入理解本章的内容，还需要后续课程的支撑。

本书每一章都配有适量的习题，完成这些练习对于深入理解课程的内容是必要的。如果结合教学进度，开设一些简单的网络实验（如局域网互连、IP 地址配置和子网划分、Windows 服务器的配置等），对于建立感性认识和实践网络操作技能都会有所帮助。

编 者
二〇一一年二月

目 录

第1章 计算机网络概论	1	2.5.1 TCP 服务	38
1.1 计算机网络的基本概念	1	2.5.2 TCP 段头格式	39
1.1.1 什么是计算机网络	1	2.5.3 TCP 的连接管理	41
1.1.2 计算机网络的通信方式	1	2.6 UDP	43
1.1.3 计算机网络的分类	2	习题	43
1.2 计算机网络的发展简史	3	第3章 局域网技术	46
1.2.1 计算机通信网	3	3.1 局域网技术概论	46
1.2.2 早期的远程联机系统	4	3.1.1 局域网关键技术	46
1.2.3 ARPAnet	5	3.1.2 局域网体系结构	48
1.2.4 Internet	5	3.2 以太网技术	49
1.2.5 下一代互联网	6	3.2.1 CSMA/CD 原理	49
1.3 互联网对人类社会的影响	7	3.2.2 MAC 协议	52
1.3.1 互联网的应用	7	3.2.3 交换式以太网	54
1.3.2 互联网带来的机遇和挑战	8	3.2.4 物理层标准	55
1.4 计算机网络体系结构	9	3.3 双绞线传输介质	57
1.4.1 计算机网络的标准化	9	3.3.1 双绞线的分类	57
1.4.2 计算机网络的功能特性	10	3.3.2 跳线的颜色编码	58
1.4.3 开放系统互连参考模型	12	3.3.3 跳线的应用	59
1.4.4 7层协议的主要功能	16	3.4 局域网互连	60
1.5 几种商用网络的体系结构	18	3.4.1 网桥体系结构	60
1.5.1 SNA 网络	18	3.4.2 生成树网桥	60
1.5.2 X.25 公用数据网	20	3.4.3 网桥协议数据单元	63
1.5.3 Novell 网络	21	3.4.4 以太网交换机	64
1.5.4 TCP/IP 网络	22	3.4.5 访问交换机的方法	68
习题	22	3.5 虚拟局域网	72
第2章 TCP/IP 网络	24	3.5.1 VLAN 的基本概念	72
2.1 Internet 协议簇	24	3.5.2 路由器基础	74
2.2 路由选择	25	3.5.3 路由器的配置	78
2.2.1 最短通路算法	26	3.6 无线局域网	81
2.2.2 路由选择策略	27	3.6.1 WLAN 的基本概念	81
2.2.3 距离矢量算法	29	3.6.2 WLAN 通信技术	82
2.2.4 链路状态算法	32	3.6.3 IEEE 802.11 体系结构	84
2.3 IP	33	3.6.4 IEEE 802.11n	86
2.3.1 IP 地址	33	习题	87
2.3.2 IP 的操作	35	第4章 网络操作系统	89
2.3.3 IP 数据单元	36	4.1 IP 地址和路由器配置	89
2.4 ICMP	37	4.1.1 动态 IP 地址	89
2.5 TCP	38	4.1.2 IP 路由表	91

4.1.3 路由和远程访问服务器	92	5.4 数字证书与密钥管理	138
4.1.4 数据包筛选器	93	5.4.1 X.509 数字证书	138
4.1.5 网络监视器	95	5.4.2 数字证书的获取	138
4.2 动态主机配置协议	96	5.4.3 数字证书的吊销	139
4.2.1 DHCP 原理	96	5.4.4 密钥管理	139
4.2.2 DHCP 服务器的安装和配置	99	5.5 虚拟专用网	142
4.3 名字解析服务	99	5.5.1 VPN 网工作原理	142
4.3.1 名字解析服务	99	5.5.2 VPN 解决方案	143
4.3.2 NetBIOS 名字解析	101	5.5.3 第二层安全协议	144
4.3.3 WINS 服务器	102	5.5.4 网络层安全协议	147
4.3.4 DNS 主机名解析	102	5.5.5 安全套接层	150
4.4 域名服务器	103	5.6 防火墙	151
4.4.1 域名系统	103	5.6.1 防火墙的基本概念	152
4.4.2 域名服务器	104	5.6.2 防火墙的体系结构	152
4.4.3 域名服务器的安装和配置	109	5.7 病毒防护	155
4.5 终端服务	110	5.7.1 病毒程序的特点和分类	155
4.5.1 终端服务器的安装	110	5.7.2 恶意程序的危害	160
4.5.2 终端服务器的配置	112	5.7.3 ARP 攻击	161
4.6 远程管理	115	5.7.4 反病毒技术	162
4.6.1 远程管理功能的改进	115	5.8 可信任系统	164
4.6.2 微软管理控制台	116	5.8.1 系统安全的基本概念	164
4.6.3 远程桌面连接	117	5.8.2 安全等级和分类	166
4.7 Internet 信息服务	120	习题	167
4.7.1 Internet 信息服务的安装	120	第 6 章 网络管理	169
4.7.2 Web 服务器的配置	121	6.1 网络管理系统	169
4.7.3 FTP 服务器的配置	124	6.1.1 网络管理的基本概念	169
习题	127	6.1.2 网络管理体系结构	170
第 5 章 网络安全	128	6.1.3 网络管理功能域	172
5.1 网络安全的基本概念	128	6.2 网络管理标准	175
5.1.1 网络安全威胁	128	6.2.1 简单网络管理协议	176
5.1.2 网络攻击的类型	128	6.2.2 管理信息库	178
5.1.3 网络安全技术分类	129	6.3 Windows SNMP 服务	181
5.2 数据加密	129	6.3.1 安装 SNMP 服务	181
5.2.1 经典加密技术	130	6.3.2 配置 SNMP 服务	182
5.2.2 信息加密原理	130	6.4 网络管理工具	184
5.2.3 现代加密技术	131	6.4.1 网络配置和诊断命令	184
5.3 认证技术	134	6.4.2 网络监视工具	193
5.3.1 基于共享密钥的认证	134	6.4.3 网络管理平台	196
5.3.2 基于公钥算法的认证	134	6.5 网络管理系统 SNMPc	198
5.3.3 数字签名	135	6.5.1 SNMPc 的安装和使用	198
5.3.4 报文摘要	136	6.5.2 操作映射数据库	201
		6.5.3 查看 MIB 数据库	204
		6.6 网络存储技术	206

6.6.1 廉价磁盘冗余阵列.....	206	7.4 逻辑网络设计.....	230
6.6.2 网络存储.....	209	7.4.1 逻辑网络设计目标.....	230
习题	211	7.4.2 主要的网络服务.....	230
第7章 网络规划与设计	212	7.4.3 技术评价.....	231
7.1 网络分析与设计过程.....	212	7.4.4 逻辑网络设计的工作 内容.....	232
7.1.1 网络系统生命周期.....	212	7.5 网络结构设计.....	232
7.1.2 网络系统开发过程.....	213	7.5.1 局域网结构设计.....	232
7.1.3 网络设计的约束条件.....	215	7.5.2 广域通信网接入技术.....	235
7.2 网络需求分析.....	216	7.6 网络运行与维护.....	241
7.2.1 需求分析的范围.....	216	7.6.1 安全风险评估.....	241
7.2.2 编制需求说明书.....	224	7.6.2 安全应急预案.....	242
7.3 通信流量分析.....	225	习题	243
7.3.1 通信流量分析的方法.....	225	参考文献	244
7.3.2 通信流量分析的步骤.....	226		

第 1 章 计算机网络概论

1.1 计算机网络的基本概念

1.1.1 什么是计算机网络

计算机网络是指由通信线路连接的许多自主工作的计算机构成的集合体。计算机连网的目的是实现资源共享，包括信息资源、软件资源和硬件资源的共享。信息资源共享就是连网的计算机用户之间可以互相通信，包括发送电子邮件和实时会话通信，然而最典型的信息资源共享方式是许多计算机作为远程终端可以访问服务器中的数据。软件资源共享是指共享软件的功能。有些软件的功能可以遍及联网的所有计算机，这样的软件叫做网络软件，如服务器操作系统和网络游戏软件就是网络软件。局域网用户共享打印机是硬件资源共享的一个实例，更一般的硬件资源共享可以扩展到共享 CPU 资源，即连网的计算机协同工作完成一个比较大的计算任务。

在计算机网络发展的过程中，曾经产生过许多技术不同、形态各异的网络，如今我们接触最多的计算机网络就是国际互联网（Internet）。Internet 融合了现代计算机技术、信息技术和通信技术的研究成果，使人类历史跨入了信息化时代。

1.1.2 计算机网络的通信方式

计算机网络通信采用包交换方式，就是把计算机要发送的信息打成一个数据包，然后在网络的各个交换结点之间不断传递，最后到达目标。所谓数据包就是一个比特串，前后各有一个特殊的标志作为数据包的分界线，如图 1-1 所示。

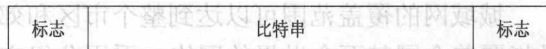


图 1-1 数据包结构

如果把连网的计算机和组成网络的交换设备都抽象成网络结点，则可得到如图 1-2 所示的网络拓扑结构图。

在图 1-2 中，虚线框外的方块结点表示连网的计算机，所有的计算机及其外围设备构成了资源子网；虚线框内的圆圈结点表示网络交换设备（路由器、交换机等），所有的交换设备构成了通信子网。从源计算机发出的信息被打成多个数据包，包头中含有目标地址和源地址。网络中的交换结点根据目标地址选择路由，一站一站地转发，把数据包送达目标。这个过程类似于邮政系统邮递包裹的过程。

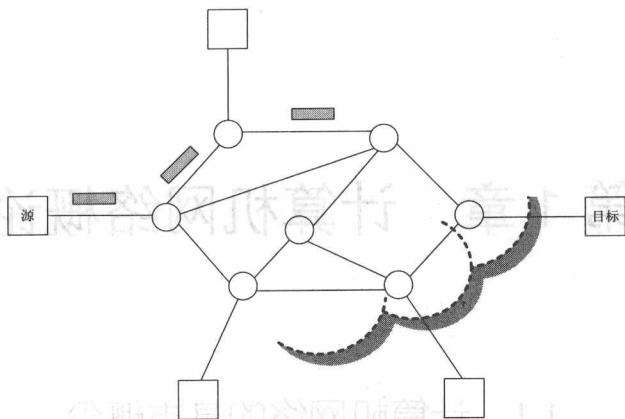


图 1-2 网络拓扑结构图

1.1.3 计算机网络的分类

可以根据不同的标准对计算机网络进行分类，以便了解各种计算机网络的技术特点。从网络覆盖范围来分类，可以分为局域网（Local Area Network, LAN）、城域网（Metropolitan Area Network, MAN）和广域网（Wide Area Network, WAN）。局域网的覆盖范围小，一个实验室网络或校园网都属于局域网。局域网的特点如下。

- （1）采用规则的拓扑结构（总线型、星型、环型、不规则型等），参见图 1-3。
- （2）采用广播通信方式，一个站点发送的信息要广播到全网，但是只有目标站点接收。
- （3）由于通信距离短，所以通信速率高，传播速度快。
- （4）由一个组织所有，按照组织的管理策略进行管理，提供组织内部的网络应用。

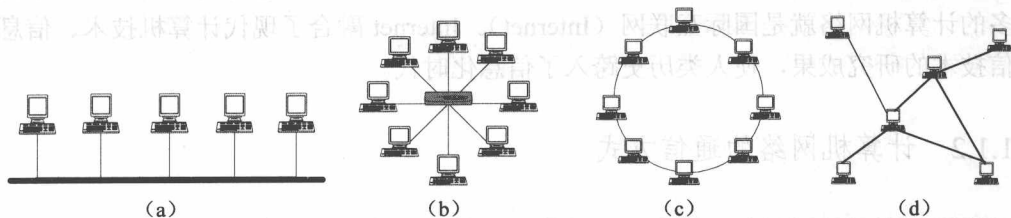


图 1-3 网络的拓扑结构

(a) 总线型；(b) 星型；(c) 环型；(d) 不规则型

城域网的覆盖范围可以达到整个市区和郊区，它采用的通信方式也是广播方式。广域网是指覆盖全国甚至全世界的网络，采用分组交换的通信方式。城域网和广域网都是由通信公司运营和管理的，向社会提供公共服务。以上 3 种网络的特点总结在表 1-1 中。

表 1-1

LAN、MAN 和 WAN 的比较

	局域网 (LAN)	城域网 (MAN)	广域网 (WAN)
地理范围	室内、园区内部	城市区域内	国内、国际
所有者和运营者	由一个组织所有和运营	几个单位共有或公用	通信公司运营
互连和通信方式	共享介质，分组广播	共享介质，分组广播	共享介质，分组交换

续表

	局域网 (LAN)	城域网 (MAN)	广域网 (WAN)
拓扑结构	规则结构: 总线型、星型和环型	规则结构: 总线型、星型和环型	不规则的网状结构
主要应用	分布式数据处理 办公自动化	LAN 互连, 综合声音、视频和数据业务	远程数据传输

按照使用方式可以把计算机网络划分为校园网 (Campus Network) 和企业网 (Enterprise Network), 前者用于学校内部的教学和科研信息的交换和共享, 后者用于企业管理和办公自动化。一个校园网或企业网可以由内联网 (Intranet) 和外联网 (Extranet) 组成。内联网是采用 Internet 技术 (TCP/IP 协议和 B/S 结构) 建立的校园网或企业网, 用防火墙限制与外部进行信息交换, 以确保内部信息的安全。外联网是校园网或企业网的延伸部分, 通过 Internet 上的安全通道与内部网进行通信, 例如一个企业的重要客户可以通过外联网与企业内部网进行通信。

按照网络服务的范围可以把网络分为公用网和专用网。公用网是通信公司建立和运营的网络, 向社会提供有偿的通信服务。专用网一般是建立在公用网上的虚拟网络, 仅限于一定范围的用户之间进行通信, 或者对一定范围的通信设备实施特殊的管理。通常在公用网上可以建立针对一个用户群的虚拟专用网, 提供用户群内部的私有信息交换。

按照网络提供的服务可以把网络分为通信网和信息网。通信网提供远程连网服务, 各种校园网和企业网通过远程连接形成了互联网, 提供联网服务的供应商叫做 ISP (Internet Service Provider)。信息网提供 Web 信息浏览、文件下载和电子邮件传送等多种增值服务, 提供信息服务的供应商叫做 ICP (Internet Content Provider)。

1.2 计算机网络的发展简史

计算机网络是通信技术与计算机技术相结合的产物, 广域通信网的发展为计算机连网提供了信息高速公路, 所以关于计算机网络的发展历史要从广域通信网的发展谈起。

1.2.1 计算机通信网

1876 年, 贝尔 (Alexander Graham Bell) 获得了电话专利, 这一年被认为是电话系统元年。1877 年, 贝尔电话公司成立, 建立了第一个电话控制平台, 采用人工交换方式实现拨号、通话、挂断等操作, 从而结束了点对点专线连接的时代。1895 年, 贝尔公司将长途业务分割出来, 成立了美国电话电报公司 (AT&T)。这个公司曾经长期垄断美国的长途和本地电话市场, 并把业务推广到了全世界。后来 AT&T 经过多次分拆和重组, 目前仍是美国最大的电话公司, 总部位于得克萨斯州圣安东尼奥。

电话网络采用电路交换的通信方式, 在一对通话的用户之间临时建立一条电话通路, 以电波传播的速度传送语音。面向社会提供电话服务的通信网络称为公共交换电话网 (Public Switched Telephone Network, PSTN)。PSTN 经历了从人工交换到自动交换、从机电式交换到程控式交换、从空分交换到时分交换、从模拟交换到数字交换的发展过程。1888 年, Strowger

发明了第一台自动控制的电话交换系统，这种交换机包含马达、凸轮、旋转开关和继电器等部件，被称为机电式交换机。程控交换机是由电子计算机控制的，用预先编制好的程序来控制电话接续工作。1965年，美国贝尔系统的1号电子交换机问世，这是第一部开通使用的程控交换机，但还不是时分数字式的，而是“空分”的。所谓空分就是用户通话时要占用一对线路，一直到打完电话为止。从1965年到1975年的10年间，大部分交换机都是空分的、模拟的程控交换机。1970年，法国开通了第一部程控数字交换机，采用了时分复用技术和大规模集成电路。进入20世纪80年代，程控数字电话交换机才开始普遍使用。

程控数字交换与数字传输技术相结合，不仅可以实现电话交换，还能实现传真、数据、图形、图像信息的交换。20世纪70年代中后期是数据通信快速发展的时期，各发达国家的政府部门、研究机构和电报电话公司都在发展传输数据的分组交换网。分组交换就是把信息打包成为“分组”，通过数字电话网传送二进制数据信息。英国邮政局于1973年建立了EPSS分组交换网，法国信息与自动化研究所(IRIA)于1975年建成了被称为CYCLADES的分布式数据处理网络，加拿大在1976年建成了DATAPAC分组交换网，日本电报电话公司于1979年建立了DDX-3公用数据网。这一类网络都是以实现计算机之间的远程数据传输和数据共享为主要目的，从而形成了区别于传统电话网的公用数据网(Public Data Network, PDN)。

1.2.2 早期的远程联机系统

1946年，第一台电子数字计算机ENIAC在美国问世，不久就有了计算机技术与通信技术的结合。1951年，美国麻省理工学院林肯实验室开始为美国空军设计被称为SAGE的半自动化地面防空系统，该系统最终于1963年建成，被认为是计算机技术与通信技术结合的先驱。计算机通信技术应用于民用系统方面，最早的当数美国航空公司与IBM公司在20世纪50年代初开始联合研发、20世纪60年代初投入使用的飞机订票系统SABRE-I。美国通用电气公司的信息服务系统(GE Information Services)是当时世界上最大的商用数据处理网络，其地理范围从美国本土延伸到欧洲、澳洲和日本，该系统于1968年投入运行，具有交互式处理和批处理能力，由于地理范围大，可以利用时差达到资源的充分利用。这一类系统都是以大型计算机为中心的远程联机系统，形成了早期的计算机网络应用模式，如图1-4所示。在这种系统中，由于应用了前端处理机专门分担通信功能，从而使中央计算机可以集中进行计算任务。两个Modem之间高速线路属于通信公司提供的公共网络，复用器的功能是收集各个终端的数据送给公共网络进行远程传输，或是把中央主机发来的数据分发给各个终端(T)。通过这样的配置，多个终端设备就可以共享远程中央计算机的资源。

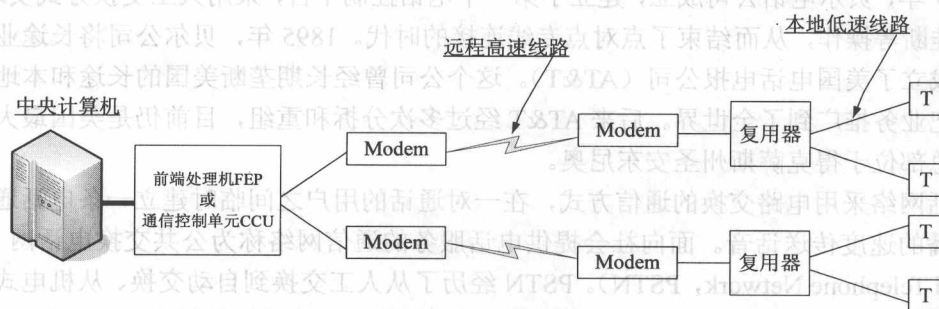


图 1-4 远程联机系统

1.2.3 ARPAnet

Internet 是美苏冷战的产物。1957 年,在苏联第一颗人造地球卫星上天的刺激下,美国国防部立即成立了一个战略研究机构——高级研究计划局 (Advanced Research Project Agency, ARPA),负责资助“High Risk, High Gain”的军事研究计划。1962 年,ARPA 提出了建立分布式军事通信系统的设想,这种系统能够承受第一次核打击的考验,当部分站点被摧毁后,其他站点能够绕过已被摧毁的站点而继续保持联系。显然,这样的通信系统不能沿用传统电话系统的通信方式。电话网络以及后来建立的数据通信网都是采用面向连接的通信模式,即在正式通信之前,先要通过呼叫过程建立一个从源站到目标站的(物理的或逻辑的)连接,然后才能开始通信,而建立连接的过程是漫长的(相对于发送很短的作战命令)、脆弱的(可能被干扰和破坏)。

1969 年,在 ARPA 的资助下,加州大学洛杉矶分校(UCLA)、加州大学圣芭芭拉分校(UCSB)、斯坦福研究院(SRI)以及位于盐湖城的犹它大学(UTAH)把 4 台计算机通过专门的通信控制处理机和专用通信线路连接起来进行了通信实验,并成功地发送了一组数据,这就是 ARPAnet 的发端。ARPAnet 采用了与传统通信网不同的无连接的网络协议,没有建立连接的过程,直接发送带有目标地址的报文分组,可以通过多条路径到达目标。两年后,ARPAnet 建成 15 个结点,进入工作阶段。此后,ARPAnet 的规模不断扩大,到了 20 世纪 70 年代后期,网络节点超过 60 个,主机达 100 多台,地理范围跨越了美洲大陆,连通了美国东部和西部的许多大学和研究机构,而且通过通信卫星与夏威夷和欧洲地区的计算机网络互相连通。ARPAnet 的主要特点是:①资源共享;②分散控制;③分组交换;④采用专用的通信控制处理机;⑤分层的网络协议。这些特点被认为是现代计算机网络的一般特征。

1.2.4 Internet

1973 年 9 月, Bob Kahn 和 Vint Cerf 在互联网工作组的一次会议上发表了主机对主机的传输控制协议 TCP,随后又在 1977 年展示了不同网络间的互连协议 IP。由于 TCP/IP 解决了不同网络间的互连问题,因此很受欢迎,有人称 Bob Kahn 和 Vint Cerf 为互联网之父。TCP/IP 协议最早是由 UC Berkeley 的计算机专家将其结合到 Unix 系统中,在大学里作为教学和研究之用。1982 年,美国国防部把 TCP/IP 技术公开,作为网络标准发布,促进了互联网技术的蓬勃发展。

出于安全的考虑,1983 年 ARPAnet 被分成两部分,专门用于军事的部分叫做 MILnet,其余的仍以 ARPAnet 相称,以 ARPAnet 为主体互连而成的广域网络称为互联网(Internet)。从 1969 年 ARPAnet 诞生到 1983 年是互联网发展的第一阶段,也是研究试验的阶段,当时连接在互联网的计算机约有 235 台。

1986 年,美国国家科学基金会 NSF 制定了一个使用超级计算机的计划,在全美建立了 5 个超级计算机中心,利用 ARPAnet 的 TCP/IP 把这些计算中心连接起来,形成了 NSFnet 的雏形。NSF 资助各大学和研究机构与这些巨型计算机联网,建立了一个广域网,成为互联网的主体部分。1987 年,经过公开招标,由 IBM、MCI 和多家大学组成的非营利性机构 Merit 获得了 NSF 的合同,实施对 NSFnet 的运营和管理。得益于 NSF 的鼓励和资助,从 1986 年至

1991 年, NSFnet 的子网从 100 个增加到 3 000 多个。随着计算机网络在全球的拓展和扩散, 美洲以外的网络也逐渐接入 NSFnet 主干网。1989 年, MILnet 与 NSFnet 连接后就开始采用 Internet 这个名称。当其他部门的计算机网络相继并入 Internet 时, ARPAnet 即功成身退。1992 年, Internet 学会成立, 该学会把 Internet 定义为“组织松散的、独立的国际合作互连网络”, “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, 伊利诺大学的学生马克·安德瑞森(Marc Andreessen)深感网络上信息量浩如烟海, 查找资料非常麻烦, 于是开发了一个叫做马赛克(Mosaic)的软件, 通过它可以作定向导航, 这就是早期的网络浏览器。1994 年 4 月风险投资家克拉克与安德瑞森创办了网景公司, 把马赛克改名为网景航海家(NetScape Navigator), 微软紧随其后推出了自己的 IE 浏览器。由于有了浏览器, 网络的使用变得非常简单, 从此网络变成了普通百姓手中的玩物, 这使得 Internet 的用户数量和覆盖范围迅速扩大。

1991 年, 美国国会议员阿尔·戈尔提出了建设国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)的法案, 他把这个项目称为“信息高速公路”。时任美国总统布什在当年 11 月签署了这一法案。1992 年, 克林顿入主白宫, 戈尔担任副总统, 随即成立了由戈尔主持的国家信息基础设施顾问委员会。1994 年 1 月 25 日, 克林顿在《国情咨文》中对这个项目作了发展规划, 其长期目标是: 用 15 年到 20 年时间, 耗资 2 000 亿~4 000 亿美元, 以建设美国国家信息基础设施作为发展政策的重点和产业发展的基础。将 NII 寓意于信息高速公路, 令人联想到 20 世纪早期美国兴起的高速公路建设在振兴经济中的巨大作用。信息高速公路将改变人们生活、工作和相互沟通的方式, 将产生比工业革命更为深刻的影响。1995 年, 北美、欧洲和东亚地区迎来了互联网建设的高潮, 这一年被称为国际网络年。

从 1983 年到 1995 年是 Internet 发展的第二阶段, 这是 Internet 开始在教育和科研领域广泛使用的实用阶段。在 1995 年之后的五六年间, Internet 进入了全速发展时期。NSF 不再向 Internet 提供资金, 为了解决网络运营经费的问题, Internet 开始了商业化经营, 同时向社会开放商业应用, 于是 Internet 进入了第三个发展阶段, 即商业应用阶段。商业用户的介入, 为互联网的发展带来了更大的机遇。

1.2.5 下一代互联网

现在的互联网是建立在 IPv4 协议的基础上, 经过多年发展以后, 逐渐显露出一些当初设计中存在的缺陷, 其中最紧迫的就是地址空间短缺问题。20 世纪 90 年代初, 人们就开始讨论新的互联网络协议。IETF 的 IPng 工作组在 1994 年 9 月提出了一个正式草案“The Recommendation for the IP Next Generation Protocol”, 1995 年底确定了 IPng 协议规范, 称为 IPv6。尽管设计 IPv6 最初的动机主要是解决地址空间日益紧张的问题, 但是人们希望它能够解决 IPv4 难以解决的其他问题, 包括网络安全、服务质量(QoS)和移动计算等。

国际 IPv6 试验网 6bone 于 1996 年建立, 曾经扩展到 50 多个国家和地区, 对 IPv6 的关键技术进行了广泛的实验。到 1998 年初, IPv6 协议的基本框架已经逐步成熟, IETF 成立了专门的工作组——Next Generation Transition(简称 ngtrans), 研究从 IPv4 向 IPv6 过渡的策略和技术。

下一代网络(Next Generation Network, NGN)将基于 IPv6 来构建。2004 年, 美国 NLR(National LambdaRail)联盟开通了传输速率达 10Gbit/s 的光纤网络, 在相距 6000 英里的圣

迭戈大学与芝加哥大学之间建立了本地以太网连接,在此基础上,研究人员将开展 Internet 2 的研究工作。NLR 联盟由美国领先的研究型大学和技术公司组成,发起组建覆盖全美国的联网基础设施,以此促成科学、工程和医学领域中基于下一代网络的应用。2004 年 9 月,欧盟宣布开通了 GéANT,建成了所有欧盟国家的学术网,用于研究下一代互联网技术。2004 年 3 月, CERnet 2 试验网开通,这是我国第一个 IPv6 主干网,与日本和韩国的 IPv6 网形成了亚太地区的先进网络 APAN (Asia Pacific Advanced Network)。2004 年 1 月 15 日,包括上述三大网络在内的全球最大的学术互联网在布鲁塞尔欧盟总部向全世界宣布,同时开通全球的下一代互联网服务。

在这些研发项目中,特别需要提到的是中国的下一代互联网示范工程——CNGI (China Next Generation Internet)。CNGI 是实施我国下一代互联网发展战略的起步工程。2003 年 8 月,国家发改委批复了 CNGI 核心网建设项目可行性研究报告,该项目正式启动。第二代中国教育和科研计算机网 CERnet 2 被确定为 CNGI 最大的核心网和全国性学术网,也是世界上规模最大的采用纯 IPv6 技术的下一代互联网主干网。CERnet 2 为基于 IPv6 的下一代互联网技术提供了广阔的试验环境,并且还将成为开发基于下一代互联网的重大应用、推动下一代互联网产业发展的关键性基础设施。

2008 年 12 月 3 日,中国下一代互联网示范工程阶段总结和成果汇报大会在北京宣布:中国下一代互联网示范工程核心网已经完成建设任务,该核心网由 6 个主干网、两个国际交换中心以及相应的传输链路组成。CERnet 2、中国电信、中国网通/中科院、中国移动、中国联通和中国铁通等 6 个主干网和两个国际交换中心已全部完成验收。CNGI 核心网实际已建成了包括 22 个城市的 59 个节点以及北京和上海两个国际交换中心的网络。

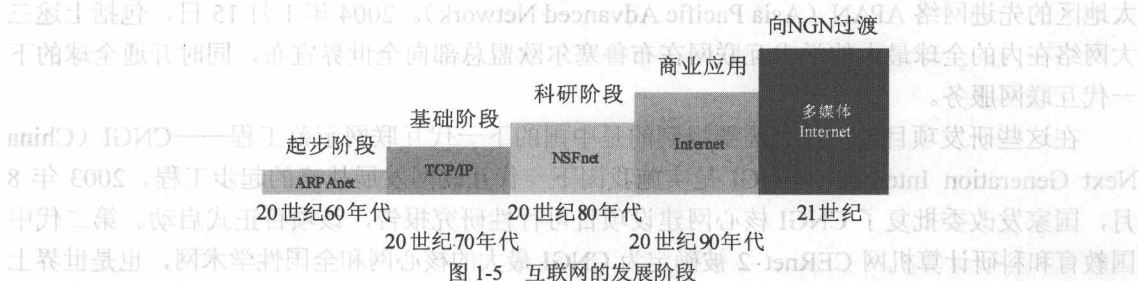
1.3 互联网对人类社会的影响

1.3.1 互联网的应用

图 1-5 所示把互联网的发展过程粗略地划分为 10 年一个阶段。20 世纪 60 年代后期是互联网的起步阶段,确定了无连接的主机对主机的通信架构;20 世纪 70 年代,在 ARPAnet 的基础上开发了 TCP/IP 协议,奠定了互联网通信的基础;20 世纪 80 年代,在 NSF 的资助下对互联网技术进行了广泛的学术研究,扩大了互联规模,建立了世界范围的主干网,同时也进入了实用阶段,主要的网络应用是电子邮件、文件下载和网络新闻组 (Usenet) 等;20 世纪 90 年代进入了 Internet 的商业应用阶段,为互联网的发展注入了新的活力,这一阶段的主要应用是 Web 浏览;进入 21 世纪后,互联网开始向 IPv6 过渡,以便提供更好的网络服务,使话音服务、视频服务和数据传输服务融合为统一的互联网服务。

近年来,网络应用进入了一个新的发展阶段,即 Web 2.0 阶段。十年前的网页是一个静态的、中央控制的信息发布平台,后来虽然有了动态网页,也只是便于信息的更新,仍然是以服务器为中心的信息发布平台,终端用户只能通过浏览器被动地接收信息。2004 年, O'Reilly 公司和 MediaLive 国际公司在一次头脑风暴会议 (Brain Storming) 上提出了 Web2.0 的概念。O'Reilly 公司总裁 Tim O'Reilly 把它的含义概括为让用户分享和自主创造内容的一系

列网络创新。例如近年来互联网上出现的一些新现象：有影响的博客成为吸引眼球的网络亮点，P2P 成为网民分享视频和音乐的公共平台，维基百科是用户参与创作的自由百科全书，社区网络（Social Networking Services, SNS）使得个体的社交圈可以放大为大型网络群体。所有这些都意味着互联网正在进行一场变革，成千上万的网站演变成一个为终端用户服务的应用平台。



Web 2.0 并不是一个技术标准，而是建立在新的技术架构上的应用软件。它的目的是鼓励信息的使用者通过分享使得信息资源变得更加丰盛，通过参与而产生个性化的内容。Tim O'Reilly 认为，Web 2.0 对互联网行业来说是一场商业革命，它起因于把 Internet 当成一个交易平台，企图在新的平台上创造通往成功的规则。IBM 的社区网络分析师 Dario de Judicibus 提出：Web 2.0 是一个架构在知识上的环境，由人与人之间的互动而产生内容，通过服务导向架构中的程序，这个环境被发布、管理和使用。

从科技发展与社会变革的大视野来看，Web2.0 现象是信息技术引发信息革命，是知识社会带来面向未来以人为本的创新，是从专业人员编织网络到所有使用者参与织网的民主化进程的典型呈现。这种全民参与的革命性背后是多种因素相互作用的结果：网络带宽的飞速发展，电脑硬件价格日益低廉，数码技术和互联网技术的成熟以及网民自我意识的觉醒等。无论新兴的 Web 2.0 网站采用何种形式、何种内容——无论是 YouTube（上传、观看、分享影片）、MySpace（部落格、群组、照片、音乐和视讯分享）还是 Facebook（帮助您与周围的人联系和分享）——它们都指向了一个终极目的：让信息更加丰富、更加个性化、更加容易获取。

1.3.2 互联网带来的机遇和挑战

人类经历了农业社会、工业社会，正在迈入信息社会。信息作为继材料、能源之后的又一重要战略资源，它的有效开发和利用已经成为社会和经济发展的主要推动力，成为经济发展的生产要素之一。互联网正在改变着人们的生产方式、工作方式、生活方式和学习方式。它对人类社会带来的发展机遇表现在以下几个方面。

(1) 互联网缩短了时空的距离，加快了信息收集和传递的速度，扩大了各种信息资源共享的范围，已经成为继报纸、广播和电视之后的第四媒体。

(2) 互联网信息的有效利用使得企业可以把生产和经营决策建立在及时、准确和科学的信息基础之上，从而提高了传统产业的生产效率。

(3) 互联网创造了新的就业机会，信息行业成为第三产业中规模最大、增长最快、财富积累最迅速的产业之一，成为年轻一代首选的热门行业。

(4) 互联网电子商务的出现造就了新的商业模式,随之而来的网上银行、电子钱包、电子数据交换等技术降低了交易的成本,促进了经济活动的繁荣。

(5) 互联网开辟了电子化管理的时代,电子政务带来了新的管理模式,使得政府管理部门可以及时了解社会的热点问题,随之做出政策调整。

(6) 互联网促进了科学技术的加速发展,科研人员都习惯于上网查找资料,一种新出现的科技成果通过互联网可以很快地得到推广和应用。

(7) 互联网对人们生活和交流的方式和内容将产生极大的影响,上网成为一些人须臾不离的生活习惯,使人们感受到这种交流方式带来的快捷与自由、开放与互动的乐趣。

(8) 互联网为各种层次的文化交流提供了良好的平台,促进了各种文化传统的融合,使得这个世界变得越来越小。

互联网为我们带来如此之多利益的同时也对人类社会提出了诸多挑战,如果我们对网络不能加以正确的利用,也会给社会发展带来各种负面影响。互联网带来的挑战表现在以下几个方面。

(1) 互联网的安全问题比以往任何信息系统的安全问题都更为突出,也更加难以解决,虽然不是不可解决的。人类社会越是依赖于网络,网络的安全威胁越会对人类社会的经济和政治生活造成更大的危害。

(2) 互联网的虚拟性在给我们带来方便和乐趣的同时,也给网络犯罪提供了可乘之机,相比现实社会的犯罪行为,网络犯罪更加难以控制和查处。

(3) 在各个国家都把互联网作为新经济时代的竞争手段和战略武器的时候,只有那些掌握了先进技术的发达国家处于更加有利的地位,信息时代竞争的起点是不平衡的,有可能导致贫富两个世界的进一步分化。

(4) 互联网在促进世界融合的同时,也使这个世界更加扁平,并趋于同一。如何保护文化习俗的多样性,促进各个民族、各种传统有序和谐的发展是我们必须认真面对的新问题。

1.4 计算机网络体系结构

1.4.1 计算机网络的标准化

经过 20 世纪 60 年代和 70 年代前期的发展,人们对组网的技术、方法和理论的研究日趋成熟。为了促进网络产品的开发,各大计算机公司纷纷制定自己的网络技术标准。IBM 首先于 1974 年推出了该公司的系统网络体系结构 (System Network Architecture, SNA), 为用户提供能够互连互通的成套通信产品; 1975 年, DEC 公司宣布了自己的数字网络体系结构 DNA (Digital Network Architecture, DNA); 1976 年, UNIVAC 宣布了该公司的分布式通信体系结构 (Distributed Communication Architecture)。这些网络技术标准只是在一个公司范围内有效, 遵从某种标准的、能够互连的网络通信产品只是同一公司生产的同构型设备。网络通信市场这种各自为政的状况使得用户在投资方向上无所适从, 也不利于多厂商之间的公平竞争。1977 年, 国际标准化组织 ISO 的 TC97 信息处理系统技术委员会 SC16 分技术委员会开始着手制定开放系统互连参考模型 OSI/RM。作为国际标准, OSI 规定了可以互连的计算

机系统之间的通信协议，遵从 OSI 协议的网络通信产品都是所谓的“开放系统”。今天，几乎所有的网络产品厂商都声称自己的产品是开放系统，不遵从国际标准的产品逐渐失去了市场。这种统一的、标准化产品互相竞争的市场进一步促进了网络技术的发展。

1.4.2 计算机网络的功能特性

计算机网络发展到今天，已经演变成一种复杂而庞大的系统。在计算机专业人员中，对付这种复杂系统的常规方法就是把系统组织成分层的体系结构，即把很多相关的功能分解开来，逐个予以解释和实现。以后我们会看到，在分层的体系结构中，每一层都是一些明确定义的相互作用的集合，这叫做对等协议；层之间的界限是另外一些相互作用的集合，叫做接口协议。下面我们通过一个简单的例子说明计算机网络应该提供的各种功能。

研究计算机网络的基本方法是全面地深入地了解计算机网络的功能特性，即计算机网络是怎样在两个端用户之间提供访问通路的。理解了计算机网络的功能特性才能够掌握各种网络的特点，才能了解网络运行的原理。

首先，计算机网络应该在源结点和目标结点之间提供传输线路，这种传输线路可能要经过一些中间结点。如果是远程连网，则要通过电信公司提供的公用通信线路，这些通信线路可能是地面链路，也可能是卫星链路。如果电信公司提供的通信线路是模拟的，还必须用 Modem 进行信号变换，因而网络应该提供与 Modem 的物理的和电气的接口。

计算机通信有一个特点，即间歇性或突发性。人们打电话时信息流是平稳而连续的，速率也不太高。然而计算机之间的通信不是这样。当用户坐在终端前思考时，线路中没有信息流过。当用户发出文件传输命令时，突然来到的数据需要迅速地发送，然后又沉默一段时间。因而计算机之间的通信链路要有较高的带宽，同时由许多结点共享高速线路，以获得合理经济的使用效率。计算机网络的设计者发明了新的交换技术来满足这种特殊的通信要求，即报文交换和分组交换技术。计算机网络的功能之一是对传输的信息流进行分组，加入控制信息，并把分组正确地传送到目的地。

加入分组的控制信息主要有两种：一种是接收端用于验证是否正确接收的差错控制信息，另一种是指明数据包的发送端和接收端的地址信息。因此，网络必须具有差错控制功能和寻址功能。另外，当多个结点同时要求发送分组时，网络还必须通过某种冲突仲裁过程决定谁先发送、谁后发送。所有这些带有控制信息的数据包在网络中通过一个个结点正确向前传送的功能叫做数据链路控制功能（Data Link Control, DLC）。

关于寻址功能还有更复杂的一面。如果网络有多个转发结点，则当转发结点收到数据包时必须确定下一个转发的对象，因此每一个转发结点都要有根据网络配置和即时交通情况决定路由的能力。

复杂网络中的通信类似于道路系统中的交通情况，控制不好会导致交通拥挤、阻塞，甚至完全瘫痪，所以计算机网络要有流量控制和拥塞控制功能。当网络中的通信量达到一定程度时必须限制进入网络中的分组数，以免造成死锁。万一交通完全阻塞，也要有解除阻塞的办法。

两个用户通过计算机网络会话，不仅开始时要有会话建立的过程，结束时还要有会话终止的过程。同时，他们之间的双向通信也需要进行管理，以确定什么时候该谁说，什么时候该谁听，一旦发生差错该从哪儿说起。这些属于一对主机之间的控制功能。