



© 高等学校教材

# 计算机网络技术 及应用

□ 郝兴伟 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

高等学校教材

# 计算机网络技术及应用

郝兴伟 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是为理、工、农、医类非计算机专业高年级学生和研究生编写的计算机网络技术及应用课程的教材。

全书分为十二章,主要内容包括:基本通信技术、计算机网络基础、网络操作系统、常用网络服务及其配置、Web服务器的架设和管理、FTP服务器的架设和管理、邮件服务器的配置和管理、HTML、JavaScript、XML基础、ASP技术,以及网络安全与防火墙技术。本书内容广泛、取材新颖,反映了网络技术的最新发展,而且讲解循序渐进、逻辑严谨,具有很强的专业性、技术性和可操作性。

本书适合作为高等院校计算机网络课程教材,也可供相关科技人员和IT从业人员学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机网络技术及应用/郝兴伟主编. —北京:高等教育出版社,2004.8(2006重印)

ISBN 7-04-015497-8

I. 计... II. 郝... III. 计算机网络-高等学校-教材 IV. TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第078386号

策划编辑 陈红英 责任编辑 陈红英 市场策划 刘 茜  
封面设计 王凌波 责任印制 陈伟光

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京市白帆印务有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2004年8月第1版
印 张	24	印 次	2006年5月第6次印刷
字 数	580 000	定 价	29.90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 15497-00

# 前 言

现在,学生对计算机通信与计算机网络的兴趣越来越大,人们不再局限于简单的计算机操作,更多的是希望了解计算机网络的相关技术,这也是社会的需求。过去,计算机网络是作为一门专业课程在大学中讲授的,现在,越来越多的学校开始把计算机网络作为非计算机专业学生的选修课程,受到了学生的普遍欢迎。

讲授计算机网络的书籍很多,大部分是非常专业的,有的侧重于理论的介绍和讲解,有的侧重于网络操作系统的讲解和配置,有的则是讲授网络的开发。对于许多学生来讲,希望能够学习比较全面的网络知识,但却不需要非常专业和深入,只要建立一个清晰的框架即可。因此,希望一本综合的书籍,作为自己学习网络,了解网络设备、架设、网络操作系统及其配置、网络服务、网络开发等内容,来帮助自己建立对网络的全面认识。

1999年,我开始开设计算机网络课程,主要讲解网络的基本原理。2001年,开始主持学校的思科网络学院计划,全面地开始接触深层的网络设备,包括路由器、交换机、网络测试仪、网络综合展示台、广域网等内容,自己对计算机网络的认识有了很大的提高。我在讲授计算机网络的时候,发现学生对通信技术,如数据是怎样通过电缆、光纤和电磁波传输的,还感到很神秘。我准备把这个黑匣子打开,因为它是计算机网络的基础。

同时,在讲授计算机网络的过程中,感觉学生对网络操作系统还不了解,没有一个基本的认识,对网络服务的配置不熟悉。实际上,只学习了网络的硬件和架设,还是远远不够的,对网络的认识还很不全面,因此,还必须学习网络操作系统的知识。网络操作系统是网络的核心,我们介绍了网络操作系统的功能、分类,以及简单地介绍了几种网络操作系统(UNIX、Linux 和 Windows NT/2000 Server)的发展和特点。

我们生活在网络时代,Internet 中众多的服务可能令我们感到迷惑。为了更好地使用网络服务,我们对常用的网络服务,如 WWW、E-mail、FTP 等服务的架设、配置和管理进行了详细的介绍,以求帮助大家通过网络服务的基本原理有个基本的认识,这样大家在应用这些服务遇到问题时,就不会感到迷惑。

当大家对 Internet 有了根本的认识后,就有一种开发上的需求,因此,在本书的最后介绍了网络开发的内容,主要是标记语言、数据库和 ASP 技术。

在本书的编写过程中得到了许多老师的大力支持,他们为课程的内容提出了很好的建议。同时,还要感谢王海洋教授,龙世立教授,他们多次组织教学研讨活动,对课程建设提出了非常好的建设性意见,并给予了大力的支持。

由于作者水平的局限,本书可能存在许多不足之处,希望同行和同学们提出宝贵的意见。也希望和各位老师、读者和同学进行交流和探讨。

作者 E-mail 地址:hwx@sdu.edu.cn

郝兴伟  
于山东大学  
2004.3

# 目 录

<b>第 1 章 基本通信技术</b> .....	(1)	<b>第 2 章 计算机网络</b> .....	(35)
1.1 通信系统简介 .....	(1)	2.1 计算机网络概述 .....	(35)
1.1.1 通信技术发展简史 .....	(1)	2.1.1 网络的功能 .....	(35)
1.1.2 通信系统的组成 .....	(2)	2.1.2 网络标准 .....	(36)
1.2 通信媒体 .....	(3)	2.1.3 网络的分类 .....	(39)
1.2.1 双绞线 .....	(4)	2.1.4 网络拓扑结构 .....	(40)
1.2.2 同轴电缆 .....	(4)	2.1.5 网络协议 .....	(41)
1.2.3 光纤 .....	(5)	2.2 网络传输介质 .....	(42)
1.2.4 微波通信 .....	(7)	2.2.1 双绞线 .....	(42)
1.2.5 卫星传输 .....	(8)	2.2.2 同轴电缆 .....	(44)
1.3 信息的符号表示与信息编码 .....	(11)	2.2.3 光纤 .....	(45)
1.3.1 信息的符号表示 .....	(11)	2.3 网络硬件和网络设备 .....	(45)
1.3.2 信息编码 .....	(11)	2.3.1 网卡 .....	(45)
1.4 模拟信号与数字信号 .....	(12)	2.3.2 中继器 .....	(47)
1.4.1 数字信号 .....	(12)	2.3.3 集线器 .....	(47)
1.4.2 模拟信号 .....	(13)	2.3.4 桥连接器 .....	(48)
1.4.3 数据编码技术与调制解调 .....	(14)	2.3.5 交换机 .....	(48)
1.4.4 调制解调器及其标准 .....	(22)	2.3.6 路由器 .....	(49)
1.5 多路复用 .....	(22)	2.3.7 机柜 .....	(49)
1.5.1 多路复用器 .....	(22)	2.4 网络的架设 .....	(49)
1.5.2 频分多路复用 .....	(23)	2.4.1 以太网(Ethernet) .....	(49)
1.5.3 时分多路复用 .....	(23)	2.4.2 10BaseT 网络的架设 .....	(51)
1.6 数据传输模式 .....	(24)	2.5 网络操作系统 .....	(54)
1.6.1 并行传输 .....	(24)	思考题 .....	(54)
1.6.2 串行传输 .....	(24)	<b>第 3 章 网络操作系统</b> .....	(55)
1.6.3 单工、半双工、全双工通信 .....	(26)	3.1 网络操作系统概述 .....	(55)
1.7 标准、标准化组织和接口标准 .....	(26)	3.1.1 网络系统软件和网络操作系统	
1.7.1 标准与标准化组织 .....	(26)	的概念 .....	(55)
1.7.2 DTE 与 DCE 之间的物理		3.1.2 网络操作系统的发展 .....	(56)
接口 .....	(28)	3.1.3 网络操作系统的功能 .....	(58)
1.7.3 空调制解调器 .....	(29)	3.2 几种网络操作系统的比较 .....	(58)
1.8 通信服务与通信设备 .....	(30)	3.2.1 UNIX 系统 .....	(59)
1.8.1 电话系统 .....	(30)	3.2.2 Netware 类 .....	(61)
1.8.2 综合业务数字网 ISDN .....	(31)	3.2.3 Windows NT/2000 Server .....	(62)
1.8.3 移动通信与蜂窝式电话 .....	(32)	3.2.4 Linux .....	(62)
思考题 .....	(34)	3.3 Windows 2000 Server 网络操作	

系统 .....	(63)	的比较 .....	(136)
3.3.1 Windows 2000 家族 .....	(63)	4.7.2 WINS 服务的运行机制 .....	(136)
3.3.2 Windows 2000 Server 的安装 和配置 .....	(64)	4.7.3 安装 WINS 服务器及配置 .....	(137)
3.3.3 登录到本机或网络 .....	(68)	4.7.4 配置 WINS 客户端 .....	(138)
3.3.4 域和活动目录 .....	(70)	4.7.5 LMHOST 文件 .....	(139)
3.3.5 安装和使用活动目录服务 .....	(76)	4.8 虚拟专用网络 VPN .....	(139)
3.3.6 安全性 .....	(84)	4.8.1 VPN 技术的相关知识 .....	(140)
3.2.6 磁盘数据加密 .....	(91)	4.8.2 创建 VPN 连接 .....	(140)
思考题 .....	(93)	思考题 .....	(148)
<b>第 4 章 常用网络服务及其配置 .....</b>	<b>(94)</b>	<b>第 5 章 Web 服务器的架设和管理 .....</b>	<b>(149)</b>
4.1 网络和拨号连接概述 .....	(94)	5.1 Internet 信息服务 IIS 5.0 概述 .....	(149)
4.1.1 网络和拨号连接概述 .....	(94)	5.1.1 什么是 IIS 5.0 .....	(149)
4.1.2 创建网络和拨号连接 .....	(95)	5.1.2 IIS 5.0 的组成 .....	(149)
4.1.3 配置网络连接 .....	(100)	5.1.3 安装 IIS 5.0 .....	(150)
4.2 远程访问服务 .....	(102)	5.1.4 Internet 信息服务管理器 .....	(152)
4.2.1 远程访问服务器端设置 .....	(102)	5.2 Web 站点的构建和配置 .....	(153)
4.2.2 远程访问客户端设置 .....	(107)	5.2.1 两个默认的 Web 站点 .....	(153)
4.2.3 使用远程访问服务 .....	(108)	5.2.2 连接到 Web 站点 .....	(153)
4.3 终端服务 .....	(108)	5.2.3 创建 Web 站点 .....	(154)
4.3.1 终端服务概述 .....	(108)	5.3 管理 Web 站点 .....	(161)
4.3.2 终端服务授权 .....	(109)	5.3.1 “Web 站点”选项卡 .....	(162)
4.3.2 安装终端服务器 .....	(110)	5.3.2 “目录安全性”选项卡 .....	(163)
4.3.3 安装终端服务客户端 .....	(112)	5.3.3 “主目录”选项卡 .....	(165)
4.4 Telnet 服务 .....	(114)	5.3.4 “文档”选项卡 .....	(166)
4.4.1 Telnet 服务器的安装 和管理 .....	(114)	5.3.5 “操作员”选项卡 .....	(167)
4.4.2 登录到 Telnet 服务器 .....	(116)	5.3.6 “自定义错误”选项卡 .....	(168)
4.5 DNS 服务 .....	(117)	5.3.7 “性能”选项卡 .....	(169)
4.5.1 域名空间与 DNS 解析 .....	(117)	5.3.8 “HTTP 头”选项卡 .....	(169)
4.5.2 安装 DNS 服务器 .....	(118)	5.4 使用 Apache 和 Tomcat .....	(170)
4.5.3 “DNS”控制台 .....	(118)	5.4.1 Apache 与 Tomcat .....	(171)
4.5.4 正向搜索区域 .....	(118)	5.4.2 Apache 的安装和配置 .....	(171)
4.5.5 反向搜索区域 .....	(123)	5.4.3 Tomcat 的安装和配置 .....	(173)
4.5.6 DNS 服务器的高级设置 .....	(125)	5.4.4 Apache 和 Tomcat 的关系 .....	(176)
4.5.7 DNS 客户端的设置 .....	(126)	思考题 .....	(177)
4.6 DHCP 服务 .....	(128)	<b>第 6 章 FTP 服务器的架设和管理 .....</b>	<b>(178)</b>
4.6.1 安装 DHCP 服务器 .....	(128)	6.1 创建 FTP 站点 .....	(178)
4.6.2 DHCP 服务器的配置 .....	(128)	6.2 管理 FTP 站点 .....	(180)
4.6.3 DHCP 服务器的高级设置 .....	(132)	6.2.1 “FTP 站点”选项卡 .....	(180)
4.6.4 配置 DHCP 客户端 .....	(135)	6.2.2 “主目录”选项卡 .....	(181)
4.7 WINS 服务 .....	(135)	6.2.3 “目录安全性”选项卡 .....	(181)
4.7.1 DNS 和 WINS 名称解析		6.2.4 “安全账号”选项卡 .....	(182)
		6.3 使用虚拟目录 .....	(183)
		6.3.1 建立用户同名文件夹 .....	(183)

6.3.2 建立与用户账户同名的虚拟目录 .....	(183)	9.4 JavaScript 函数 .....	(228)
6.3.3 取消允许匿名连接 .....	(185)	9.5 JavaScript 的对象 .....	(230)
6.4 从 FTP 站点上下载和上传文件 .....	(186)	9.5.1 JavaScript 对象的结构 .....	(230)
思考题 .....	(186)	9.5.2 常用的 JavaScript 对象 .....	(230)
<b>第 7 章 邮件服务器的配置和管理</b> .....	(187)	9.5.3 JavaScript 的其他内部对象 .....	(241)
7.1 邮件传输的基本原理 .....	(187)	思考题 .....	(247)
7.1.1 SMTP 和 POP3 协议 .....	(187)	<b>第 10 章 扩展标记语言 XML</b> .....	(248)
7.1.2 邮件传输过程 .....	(187)	10.1 XML 概述 .....	(248)
7.1.3 本地邮件和远程邮件 .....	(188)	10.1.1 HTML 存在的问题 .....	(248)
7.2 默认 SMTP 虚拟邮件服务器 .....	(188)	10.1.2 XML 的产生 .....	(248)
7.3 管理 SMTP 虚拟邮件服务器 .....	(189)	10.1.3 什么是 XML .....	(249)
7.3.1 “常规”选项卡 .....	(190)	10.1.4 XML 的特点 .....	(249)
7.3.2 “访问”选项卡 .....	(190)	10.2 创建 XML 文档 .....	(250)
7.3.3 “邮件”选项卡 .....	(192)	10.2.1 XML 文档的基本结构 .....	(251)
7.3.4 “传递”选项卡 .....	(192)	10.2.2 元素及其组织结构 .....	(252)
7.4 使用默认 SMTP 虚拟邮件服务器 .....	(193)	10.3 名称空间和实体 .....	(254)
思考题 .....	(196)	10.3.1 名称空间 .....	(254)
<b>第 8 章 HTML 标记语言</b> .....	(197)	10.3.2 实体的应用 .....	(255)
8.1 万维网联盟(W3C)和 SGML .....	(197)	10.4 文档类型定义 .....	(257)
8.2 超文本标记语言 HTML .....	(197)	10.4.1 DTD 文档类型定义 .....	(257)
8.2.1 什么是 HTML .....	(197)	10.4.2 使用 Schema 架构 .....	(260)
8.2.2 HTML 的文档结构 .....	(198)	10.5 文档的显示格式 .....	(264)
8.3 常用的 HTML 标记及其属性 .....	(199)	10.5.1 使用 CSS 格式化数据 .....	(264)
8.3.1 标记的语法 .....	(199)	10.5.2 可扩展样式语言 XSL .....	(268)
8.3.2 常用标记及属性 .....	(200)	10.5.3 数据岛 .....	(276)
8.3.3 列表的应用 .....	(208)	10.6 XML 的文档对象模型 .....	(277)
8.3.4 表格 .....	(210)	10.6.1 文档对象模型的基本结构 .....	(277)
8.3.5 表单 .....	(212)	10.6.2 创建文档对象和加载 XML .....	(278)
8.3.6 框架 .....	(216)	10.6.3 DOM 对象的属性和方法 .....	(279)
思考题 .....	(220)	10.6.4 应用举例 .....	(280)
<b>第 9 章 JavaScript 脚本语言</b> .....	(221)	10.7 Xlink 和 XPointer 规范 .....	(282)
9.1 JavaScript 概述 .....	(221)	10.7.1 建立 XML 超级链接 .....	(283)
9.1.1 JavaScript 的特点 .....	(221)	10.7.2 使用 XPointer 定位 .....	(283)
9.1.2 Java 和 JavaScript 的差别 .....	(222)	10.8 基于 XML 的 Web 应用 .....	(283)
9.1.3 <SCRIPT> 标记 .....	(222)	10.8.1 利用 Java 的分布式处理 .....	(283)
9.1.4 JavaScript 脚本程序示例 .....	(223)	10.8.2 用户选择浏览方式 .....	(284)
9.2 数据类型与表达式 .....	(223)	10.8.3 数据库交换 .....	(284)
9.3 JavaScript 的控制流 .....	(226)	10.8.4 Web 智能代理 .....	(285)
9.3.1 顺序流 .....	(226)	思考题 .....	(285)
9.3.2 分支控制流 .....	(226)	<b>第 11 章 ASP 技术及其应用</b> .....	(287)
9.3.3 循环控制流 .....	(227)	11.1 Web 工作模式 .....	(287)
		11.2 ASP 技术概述 .....	(287)
		11.2.1 ASP 的运行环境 .....	(288)

11.2.2 ASP 文件与脚本语言 .....	(288)	12.1.1 网络安全的定义 .....	(350)
11.2.3 全局参考文件与包含文件 ..	(292)	12.1.2 网络面临的威胁 .....	(350)
11.2.4 ASP 文档设计规则 .....	(293)	12.1.3 安全策略 .....	(351)
11.3 ASP 内建对象 .....	(294)	12.2 网络安全的基本体系 .....	(352)
11.3.1 Request 对象 .....	(294)	12.2.1 物理安全 .....	(352)
11.3.2 Response 对象 .....	(300)	12.2.2 网络安全 .....	(353)
11.3.3 Application 对象 .....	(306)	12.2.3 信息安全 .....	(355)
11.3.4 Session 对象 .....	(308)	12.2.4 安全管理 .....	(357)
11.3.5 Server 对象 .....	(311)	12.3 信息安全的评价标准 .....	(358)
11.4 ASP 内置组件 .....	(311)	12.4 防火墙技术概述 .....	(359)
11.4.1 Browser Capabilites 组件 .....	(312)	12.4.1 防火墙的定义 .....	(359)
11.4.2 File Access 组件 .....	(312)	12.4.2 防火墙的架构 .....	(360)
11.5 数据库基本知识 .....	(316)	12.4.3 防火墙的体系结构 .....	(360)
11.5.1 数据库管理系统 .....	(316)	12.4.4 防火墙的基本类型 .....	(361)
11.5.2 Access 数据库 .....	(317)	12.5 主要的防火墙技术 .....	(363)
11.5.3 开放式数据库互联 ODBC ..	(320)	12.5.1 包过滤技术 .....	(363)
11.5.4 结构化查询语言 SQL .....	(321)	12.5.2 应用级网关技术 .....	(364)
11.6 数据库访问 .....	(326)	12.5.3 电路级网关技术 .....	(365)
11.6.1 ActiveX 数据对象 ADO .....	(326)	12.5.4 状态包检查引擎 .....	(365)
11.6.2 Connection 对象 .....	(327)	12.6 常见的防火墙产品 .....	(366)
11.6.3 RecordSet 对象 .....	(330)	12.6.1 Check Point FireWall - 1 .....	(366)
11.6.4 Command 对象 .....	(340)	12.6.2 ISA Server .....	(368)
思考题 .....	(349)	思考题 .....	(370)
<b>第 12 章 网络安全与防火墙技术</b> .....	<b>(350)</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>(372)</b>
12.1 网络安全概述 .....	(350)		



# 第1章 基本通信技术

20世纪无疑是通信技术和计算机技术蓬勃发展的百年,从19世纪的模拟电话、电报通信到20世纪的Internet,人类的通信手段发生了翻天覆地的变化。今天,计算机已经由过去的单机应用模式越来越多的依赖于计算机之间的互联和网络互联,通过将分布在不同位置的计算机连接在一起,实现了计算机之间的通信和数据交换。

通信技术是计算机互联的基础,虽然这不是一本专门讲解通信技术的书籍,但是掌握一些通信知识对于理解计算机网络和Internet应用是非常有益的。因为通信技术的许多概念、工作原理、拓扑结构和我们将要讨论的主题有关。

## 1.1 通信系统简介

通信就是信息通过传输媒体进行传递的过程。人类通信的历史非常久远,远古时代人类通过语言、符号或烽火传递信息,听觉和视觉是信息传递的基本方式。随着人类文明的进步,特别是文字和印刷术的发明,邮政系统成为信息传递的手段。现代,电的发明和应用使人类进入了电子通信时代,电报、电话、广播和电视成为最主要的信息传递手段。20世纪末,随着计算机网络和Internet的迅猛发展,Internet作为一种新的通信媒体,向传统的通信手段进行新的挑战。

### 1.1.1 通信技术发展简史

自从19世纪初,人类开始电子通信以来,通信技术的发展很快,新的传输媒体不断出现,下面简要地回顾一下通信技术的发展历史。

1837年,美国人摩尔斯(Samuel Morse)发明了有线电报,使得通过一条铜线上的电脉冲来传递信息成为可能。对报文的每一个字符进行编码,这些编码对应着一串长短不一的电脉冲,通过铜导线传出去,接收者通过一个电子感应器来识别编码信息。

1844年,摩尔斯建立了以他的姓氏命名的电报系统。

1866年,第一条横跨大西洋的海底电报电缆铺设成功。

1876年,贝尔(Alexander Graham Bell)发明了电话,它将声音转化成电信号,然后由一条电压连续变化的导线传出去。在导线的另一端,电信号被还原成声音。

早期的电话系统,通话双方必须有一个直接的物理连接,后来的交换板技术改变了电话之间的直接连接,接线员根据呼叫者说出的电话号码来连接两部电话。这样,两部电话的通信不再需要事先建立固定的连接,连接是根据需要临时建立的,大大改善了电话的可用性。

1887年,德国人赫兹进行的实验证明了电磁波辐射的存在,从而为麦克斯韦的电磁波学说提供了有力的证据。

1895年,意大利人马可尼(Guglielmo Marconi)发明了无线电报。1894年,无线电通信

的奠基人马克尼第一次在家利用无线电波打响了 10 m 以外的电铃。1895 年夏,马克尼对已有的火花式发射机和金属粉末检波器进行了改进,在发射机和接收机端加装了天线,成功地进行了无线电波传输信号的试验。同年秋天,他使通信距离增加到 2.8 km,并且在纸带上记录由对方拍发来的摩尔斯电报信号。1897 年,利用风筝作为收发天线,使电信号越过了布里斯托尔海湾,距离 14 km,创造了当时最远通信的记录,同年 7 月组建无线电报公司。

1901 年,马克尼首次收到横跨大西洋 3000 英里的火花式无线电报。

1920 年,在无线电的基础上,调幅广播首次在美国实现。

1937 年,英国开始黑白电视广播,1939 年美国开始黑白电视广播。

1941 年,实现调频无线电广播。

1940 年—1945 年,使用雷达,实现微波通信。

1946 年,世界上第一台多用途的电子计算机 ENIAC 在美国宾夕法尼亚大学诞生。ENIAC 共使用 17 000 多个真空电子管、70 000 多个电阻和 6 000 多个开关。整个机器重达 3 吨,占地 135 m<sup>2</sup>,功率 150 kW。ENIAC 计算机主要是靠继电器的状态组合来完成运算任务,每秒钟可进行 5 000 次的加法运算。

1947 年,贝尔实验室的 Schockley 博士发明了被誉为“20 世纪最伟大发明”的晶体管。

1953 年,美国开始试播 NTSC 制式广播电视。

1955 年,Narinder Kapany 发明了光纤。

1956 年,铺设越洋电缆。

1957 年,该年的 10 月 4 日,前苏联发射了人类历史上的第一颗人造地球卫星 Sputnik,卫星高度 560 英里。

1958 年,Texas Instruments 制成第一个集成电路,贝尔电话推出了第一台调制解调器,贝尔实验室的研究人员发明了激光。

1962 年,美国发射第一颗通信卫星 Telstar - 1,卫星通信进入实用阶段。

20 世纪 60 年代以后,随着微电子技术和计算机技术的迅速发展,大规模集成电路、超大规模集成电路、数字传输理论和技术、商用通信卫星、程控数字交换机、光纤通信、综合数字业务等一系列技术都得到了迅速发展和应用。

### 1.1.2 通信系统的组成

实现信息传递所需要的一切设备构成通信系统,通信系统一般由五个部分构成,概念模型如图 1.1 所示。

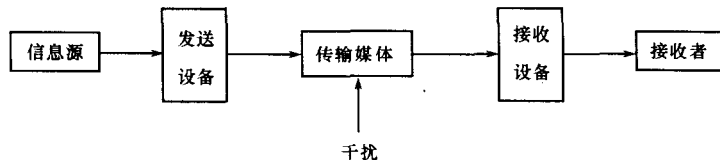


图 1.1 通信系统概念模型

从通信系统的概念模型来看,通信实际上包括两大方面的问题。首先,是信息的符号表示和编码,即信息如何表示,以及为了根据通信媒体的物理特性选择相应的编码。其次,通

信媒体的物理特性,怎样表示和传输编码数据。

### 1. 信息源

按照信息源输出信号的性质来区分,信息源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出连续幅度的信号,如声音的强度、温度的高低变化等都是模拟信号。数字信源输出离散的值,每个离散值代表一个符号,如计算机、电传机产生输出的数据等。

### 2. 发送设备

发送设备是将信源产生的信号转换成能够在传输媒体中便于传送的信号形式,送往传输媒体。这种变换是多种多样的,常见的方法是调制。

对于数字通信系统来说,发送设备包括信源编码和信道编码两个部分。信源编码将连续信号变为数字信号,信道编码使数字信号和传输媒体匹配,来提高传输的有效性和可靠性。另外,发送设备还包括为了实现某些特殊要求而进行的各种处理,如信息分组、数据加密、多路复用等。

### 3. 传输媒体

传输媒体是指从发送设备到接收设备信号传递所经过的物理媒体。传输媒体可以有线的,如同轴电缆、双绞线、光纤等。也可以是无线的,如微波、通信卫星、移动通信等。无论是有线传输还是无线传输,由于传输介质和电信号的固有物理特性,信号在传递过程中会产生干扰和信号衰减。

### 4. 接收设备

接收设备用于信号的识别,它将接受到的信号进行解调、译码操作,还原为原来的信号,提供给接收者。

### 5. 接收者

接收者将接收设备得到的信息进行利用,从而完成一次信息的传递过程。

最后,需要说明的是,图 1.1 描述的是单向通信,实际上大部分的通信系统都是双向通信的。信息源同时也是信息的接收者,反过来信息的接收者也是信息的发送者。通信双方都有发送和接收设备,如果两个方向都有不同的传输媒体,则双方可以独立的发送和接收信息;如果传送和接收公用传输媒体,则需要采用相应技术,如频率分割或时间分割的方法来共享传输介质。

通信系统除了完成信息的传递外,有时还需要在不同的传输系统之间进行交换,传输系统和交换系统共同构成一个完整的通信系统,或称为通信网络。

## 1.2 通信媒体

信息是以某种能量形式的编码数据通过传输媒体来传递的,在研究信息的编码以前,先来介绍各种通信媒体的物理特性。常用的通信媒体可以分成三类:第一类为金属导体,如同轴电缆、双绞线等,利用铜或铁等金属导体的电流变化来传输数据。第二类是以光纤为代表的透明玻璃或塑胶绳媒体,它们利用光波来传输数据。第三类媒体不需要物理连接,主要是

利用电磁波的辐射来实现数据传输,如无线电报、无线广播等。

数据传输的特征和质量是由传输介质的特征和信号的特征决定的,每一种传输媒体在带宽、延迟、成本和安装维护方面各不相同,下面对每一种媒体作简要介绍。

### 1.2.1 双绞线

双绞线由螺旋状扭结在一起的两条绝缘导线组成,线对的扭结可以有效地减少串扰。双绞线有屏蔽和非屏蔽双绞线两种类型。现行双绞线电缆中一般包含四对双绞线,具体为橙/白橙、蓝/白蓝、绿/白绿、棕/白棕。双绞线结构如图 1.2 所示。

双绞线既可以传输模拟信号,也可以传输数字信号。对于模拟信号,双绞线的中继距离为 5~6 km。例如,在电话通信系统中,采用双绞线传输语音信号。虽然语音频率大约在 20~30 kHz 之间,但是可听见的语音所需要的带宽要窄得多,大约在 300~3 300 Hz。因此,在一条双绞线上,采用频分多路复用技术可进行多个音频通道的复用,每个通道的容量为 3 kHz。由于双绞线的带宽约为 268 kHz,这样在一对双绞线上可以频分 24 个音频信道。

使用调制解调器可以在模拟信道上传输数字信号。每一通道的比特率可达 9 600 b/s,因此在一条 24 通道的双绞线上,总的传输速度可达 230 kb/s。使用 T1 线路在双绞线上传输数字信号,传输速率可达 1.544 Mb/s,实际的传输速率与传输距离有关。在 10BaseT 网络中,在 100 m 的距离内,传输速率可达 10 Mb/s,采用特殊的信号编码技术,传输速率可以达到 100 Mb/s。

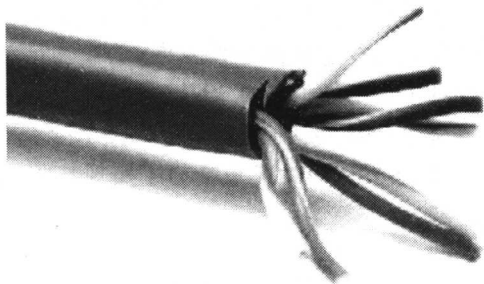


图 1.2 非屏蔽双绞线结构示意图

### 1.2.2 同轴电缆

同轴电缆(Coaxial)以单根铜导线为内芯,外裹一层绝缘材料,外覆密集网状导体,最外面是一层保护性塑料。同轴电缆结构如图 1.3 所示。

金属屏蔽层能将磁场反射回中心导体,同时也使中心导体免受外界干扰,故同轴电缆比双绞线具有更高的带宽和更好的噪声抑制特性。

同轴电缆主要有两种应用,一种为 50 Ω(沿电缆导体各点的电磁电压对电流的比)的电缆,用于基带数字传输;另一种为 75 Ω 的电缆,用于宽带模拟传输。

使用基带传输数字信号,信号占据整个频宽,电缆上只有一个信道。基带电缆传输主要用于局域网,采用曼彻斯特编码,传输速率为 10 Mb/s。

宽带模拟传输采用标准的有线电视技术,频带可达 300~450 MHz。由于传输模拟信号,传输距离可达 100 km。在模拟网上传输数字信号需要有特殊的接口,它把数字信号转

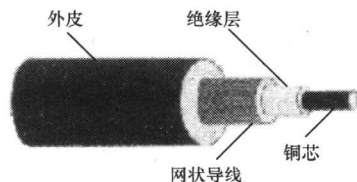


图 1.3 同轴电缆结构示意图

换为模拟信号和将模拟信号还原成数字信号。

宽带可以分为多个信道,电视广播通常占用 6 MHz,每个信道可用于模拟电视、CD 质量声音或者 3 Mb/s 的数据流。电视和数据可以在一条电缆上混合传输。随着电话系统和有线电视公司的激烈竞争,有线电视系统会在宽带电缆上提供电话和其他服务。

在以太网架设中,同轴电缆的接法有两种:直径为 0.4 cm 的 RG-11 粗缆采用凿孔接头接法,直径为 0.2 cm 的 RGp-58 细缆采用 T 型头接法。粗缆符合 10BASE5 介质标准,使用时需一个外接收发器和收发器电缆,单根最大长度为 500 m,可靠性强,最多可接 100 台计算机,两台计算机的最小间距为 2.5 m。细缆按 10BASE2 介质标准直接连到网卡的 T 型头连接器(即 BNC 连接器)上,单段最大长度为 185 m,最多可接 30 个工作站,最小站间距为 0.5 m。

### 1.2.3 光纤

光纤(Fiber Optic)是光导纤维的简称,是一种能够传导光信号的传输介质。光纤是由玻璃或塑料等物质材料做成的。光纤由纤芯、覆层和保护层三个部分构成,结构如图 1.4 所示。

纤芯为光通路,由纯净的玻璃和塑胶材料制成,每一路光纤包括两根,一根接收,一根发送。覆层包围着纤芯,由多层反射玻璃纤维构成,光密度比纤芯部分低,可将光线反射到纤芯上。保护层起保护和提供光纤强度的作用,防止光纤受到弯曲、外拉、折断和温度等影响。与同轴电缆比较,光纤可提供极宽的频带且功率损耗小、传输距离长(2 km 以上)、传输率高(可达数千 Mb/s)、抗干扰性强(不会受到电子监听),是构建安全性网络的理想选择。

#### 1. 光纤的工作原理

根据光学原理,当光线从一种介质进入另一种介质时,在两种物质的交界处会发生折射现象,如图 1.5 所示。

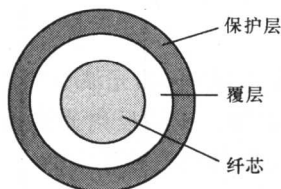


图 1.4 光纤截面图

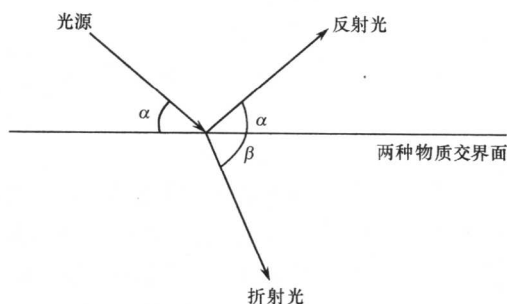


图 1.5 光的折射和反射示例

若光源的入射角度为  $\alpha$ ,一部分光线在表面以  $\alpha$  角被反射,而另一部分光线(折射光)将穿越边界,进入另一种物质媒体。折射光不会按直线射出,它和边界的夹角为  $\beta$ 。例如,在二氧化硅/空气界面上,光线以  $21^\circ$  角射入,将以  $31^\circ$  角射出。

如果第一种媒体的光密度大于第二种媒体,则  $\beta < \alpha$ ,反之则  $\beta > \alpha$ 。物理学家用折射率来衡量这种关系,折射率定义为  $\cos(\alpha)$  和  $\cos(\beta)$  的比。如果  $\cos(\alpha) < \cos(\beta)$ ,则  $\alpha > \beta$ 。

因此,当折射率小于 1,表明光线正在进入一种光密度较小的媒体。

一个有趣的现象是,在折射率小于 1 的情况下,当入射角  $\alpha$  小于某个特定的临界值时,将不发生折射。即光线将全部反射回第一种媒体,而不会漏射入第二种媒体,这就是光纤的工作原理。

根据光纤的工作原理,光线将被完全限制在光纤中,可以无损耗地传输几十公里。由于光线是端到端传输的,所以可以将光纤想像成一个几十公里厚的玻璃,并且是透明的。

### 2. 光纤的类型

光线沿着纤芯传播存在一个潜在的问题,由于穿越光纤的光线的频率一般为  $10^{14}$  Hz,波长大约为  $2 \times 10^{-4}$  m,即  $2 \mu\text{m}$ 。和光的波长相比,当光的传输媒体相当厚时,光将从不同的位置,以各种不同的角度进入媒体。有些光线基本上沿着媒体的中线传播,有些光线则以不同的角度撞击边界面,结果是光将以有限的角度在边界面之间来回反弹沿着传输媒体向前传播。每一个角度都定义了一条路径或一种模式。以这种方式传输光波的光纤成为多模光纤,如图 1.6 所示。



图 1.6 多模光纤

多模光纤又分为步率多模光纤 (Step Index Multimode Fiber) 和级率多模光纤 (Graded Index Multimode Fiber) 两种。两者的区别是级率多模光纤所用的覆层材料的光密度由内向外逐渐变小,从而减少了步率多模光纤中的模式散步 (Modal Dispersion) 现象。

在多模光纤中,光波以有限的模式向前传播,模式的具体数目是由纤芯所用媒体的直径和光的波长决定的。减少纤芯的直径可以降低光线撞击边界面的角度数目,即模式数目减少了。如果纤芯直径减少到一定程度,光纤内将只有一种模式传播的光波,这就是单模光纤 (Single Mode Fiber),如图 1.7 所示。



图 1.7 单模光纤

纤芯的直径应该是多少呢? 根据物理学原理,反射体反射电磁波(如光波)的能力与其大小有关。要使光纤按照单模方式传输,反射体(即覆盖层)必须大于被反射光的波长,由于覆盖层包围着核心媒体(纤芯),因此覆盖层的大小是由核心媒体的直径决定的。

由于穿越光纤的光线的频率一般为  $10^{14}$  Hz,根据波长和频率的关系:

$$\text{波长} = \frac{\text{光速}}{\text{频率}}$$

而光速  $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} (\approx 3 \times 10^8)$ ,可以得出光线的波长大约为  $2 \times 10^{-4} \text{ m}$ ,即  $2 \mu\text{m}$ 。因此,单模光纤的直径一般为  $4 \sim 8 \mu\text{m}$ ,大约有人头发丝那么细。

光纤又常常按照芯的直径分成多种规格型号,目前常见的有:  $8.3 \mu\text{m}$  芯/ $125 \mu\text{m}$  覆盖层(单模)、 $62.5 \mu\text{m}$  芯/ $125 \mu\text{m}$  覆盖层(多模)、 $50 \mu\text{m}$  芯/ $125 \mu\text{m}$  覆盖层(多模)和  $100 \mu\text{m}$  芯/ $140 \mu\text{m}$  覆盖层(多模)等多种。

### 3. 光纤系统

采用光纤传输,除了光纤传输介质以外,还需要光源和检测器等。一个光纤系统如图 1.8 所示。

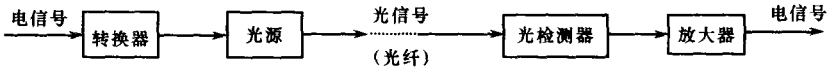


图 1.8 光纤传输系统

目前光纤系统中使用的光源主要有发光二极管(Light Emitting Diode, LED)和注入式激光二极管(Injection Laser Diode, ILD)两种。发光二极管是一种在加电后能发光的固态器件,可以工作在较宽的温度范围、较长的使用寿命、价格低。注入式激光二极管是基于被激发的量子电子效应而产生窄带超发光束以激光原理的固态器件,注入式激光二极管更为有效,可以支持更高的传输速率,价格昂贵。目前在局域网中使用较多的是 850 nm 的发光二极管光源。

在光波传输中采用一种称为 ASK(Amplitude Shift Keying)的光强度调制,二进制的 0 和 1 是用一种给定频率光的有无来表示的。发光二极管和注入式激光二极管器件都能用此方式调制,而接收端的监测器可以直接相应光强度调制。

在接收端,监测器的光电二极管将光变成电信号。

新的波分多路复用技术(Wavelength Division Multiplexing, WDM)对每个位流使用不同的波长,可以在一条光纤上复用、发送和传输多个位,如按照一个字节 8 位并行传输。采用波分多路复用技术的光纤链路适合于字节宽的并行计算机接口。

#### 1.2.4 微波通信

无论使用双绞线、同轴电缆还是光纤作为传输介质,都是在通信设备之间建立一个物理的连接。在许多情况下,物理连接是不实际的,甚至是不可能的,这就需要无线通信。

##### 1. 电磁波

无线通信利用物理学的电磁波理论,电磁波是发射天线感应电流而产生的电磁振荡辐射。电磁波在自由空间传播,被接收天线感应。无线通信的例子很多,例如,无线广播、电视等。

电磁波根据频率和波长分为无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线等,如图 1.9 所示。

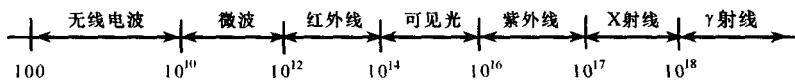


图 1.9 电磁波频率(Hz)分布

根据电磁波的原理,低频电磁波将以较少的损耗从高层大气中反射回来。通过在地面和大气之间的来回反弹,电磁波可以沿着地球表面传播的很远。例如,频率为 3 ~ 30 MHz 的短波设备可以接受到地球背面传来的信号。频率较高的信号趋向于以较大的损耗进行反射,传播的距离较近。

根据物理学原理以及频率与波长的关系,低频波的传输需要很长的天线。

## 2. 微波传输

微波是波长约 1 m ~ 1 mm (相应的频率为 300 MHz ~ 300 GHz) 的电磁波, 该段电磁频谱又分成分米波、厘米波和毫米波等。从现代电磁技术的发展来看, 一般认为波长小于 1 mm 的电磁波属于微波范围。

微波有两个重要特性。第一, 微波是直线传播的, 不能向低频波一样沿着地球曲面传播。第二, 大气条件和障碍物将妨碍微波的传播。

由于微波是直线传播的, 它要求消息的发送方和接收方之间有一条视线通路 (Line of Light)。当两点间直线距离内无障碍时就可以使用微波传送, 例如, 卫星到地面、城市两个建筑物之间, 或者很大的无法实际布设电缆的开阔区域, 如沙漠、草地和湖泽等。

因为地球表面是曲面, 因此, 微波在地面的传输距离有限。为了使微波通信传输更远的距离, 需要建立若干的中继站。在中继站内, 配备信号放大器和安装双向天线, 这些双向天线以点到点方式聚集其他点发出的电磁波或无线电波能量。天线之间需要无障碍路径, 最大范围可达 30 km。天线通常安装在高塔上, 以扩展它们的工作距离, 并避开引起反射信号的障碍物。各地的无线电发射接收器通过天线发送信号。

安装一个小微波系统是很简单的。例如, 可以在两个建筑物的墙上分别安装一个天线, 并将这两个天线指向相对, 就建立了这两个建筑物之间的微波通信。由于绕过了本地信息交换公司, 所以系统相当便宜。在校园环境, 微波系统比铺设电缆更加实际。

### 1.2.5 卫星传输

卫星传输是微波传输的一种, 需要通过在地球上空的同步地球卫星作中继来转发微波信号, 才可以克服地面微波传输距离的限制, 如图 1.10 所示。

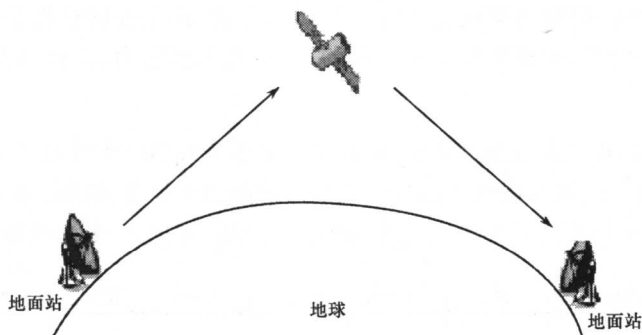


图 1.10 卫星通信

1957 年 10 月 4 日, 前苏联发射了人类历史上的第一颗人造地球卫星 Sputnik, 卫星高度 560 英里, 进入一条低层轨道运行, 从此开始了人类卫星通信的历史。根据开普勒行星运动规律, 给定一个高度, 物体需要某个确定的速度以保证按照轨道运行。速度过高, 物体将脱离轨道而进入太空, 速度太低, 则不足以抵消地球的引力, 物体将掉落下来。

另外, 根据开普勒第三定律:

$$P^2 = KD^3$$



其中,  $P$  为物体绕行星运转一周所需的时间,  $K$  是与重力加速度相关的常数,  $D$  是物体到行星中心的距离。

由上述公式可知, Sputnik 卫星绕地球一周所需的时间将小于地球的自转时间 24 小时, 卫星和地球之间是相对运动的。另外, 由于微波通信需要双方有视线通路, 当卫星运动到地平线以下时, 通信将中断, 直到从另一面的地平线上升起。因此, 地面接收站和 Sputnik 卫星进行微波通信将是不连续的。

要保证卫星通信的连续性, 就必须保证地面站和卫星的相对静止状态, 同样根据开普勒第三定律, 可以计算出卫星应该位于赤道上空 22 300 英里的高度, 这就是地球同步卫星 (Geosynchronous Orbit)。可见, 这个高度比 Sputnik 卫星高的多, 它需要运载火箭强大的动力才能将其送到更高的太空空间。

一个同步地球卫星可以覆盖地球三分之一以上的表面, 因此, 三个这样的地球同步卫星就可以覆盖地球上全部的通信区域, 从而保证地球上各个地面站之间的通信。

在卫星通信中, 每颗卫星都有一定数量的异频雷达收发机, 用来接收某一频率范围的信号, 并用另一个不同的频率进行传播。地面发射机将信号发送给卫星 (上行), 卫星上的异频雷达收发机将信号转播到地球上另一个区域 (下行)。

一个非常重要的事实是, 通过卫星传输, 使用同一频率范围的信号不能交迭在一起。这样就限定了一个特定波段上传送数据的卫星的数目, 同时也限定了卫星之间的最短距离。目前, 有数以百计的卫星在绕地球运转, 它们使用 C 波段和 Ku 波段收发信息, 为各种不同的应用提供服务。

在各种各样的信号中, 每颗卫星是如何收发自己需要的信号呢? 我们来对比图 1.11 所示的两种情况。

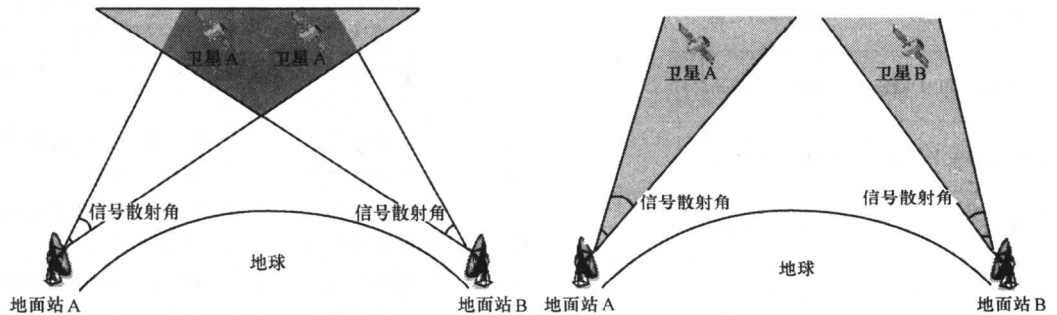


图 1.11 卫星位于多个或者单个地面接收站的信号散射范围内

假设两个地面站 A 和地面站 B, 分别用相同的频率向卫星 A 和卫星 B 发送信号, 信号覆盖的范围信号的散射角度有关。在第一种情况中, 卫星 A 和卫星 B 同时位于地面站 A 和地面站 B 的信号范围内, 将同时收到频率相同的两种信号。如果信号的散射角度较小, 并且两颗卫星保持足够的距离, 将保证信号的正确接收, 如第二种情况所示。

上面我们介绍了地球同步卫星通信, 下面再简要介绍一下低轨道人造卫星的发展。和地球同步卫星相比, 在低层空间运行的低轨道人造卫星 (Low Earth Orbit Satellite, LEOS) 具有地球同步卫星所没有的优点。首先, LEOS 对火箭动力的要求较低。第二, 由于 LEOS 和