

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业

通信原理

(第2版)

孙学军 主编 冯玉珉 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

IN911

69=2

2007

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业

通信原理

(第2版)

孙学军 主编 冯玉珉 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书较全面、系统地讲述通信系统的基本原理、基本分析方法和基本性能,其内容以数字数据传输为主。全书共分 11 章,内容包括:绪论、信号与噪声、模拟调制系统、基带数字信号及其传输、数字调制系统、信道复用和多址方式、同步原理、差错控制原理、通信系统的噪声性能、通信网基础和现代通信网。各章均有习题,并附有部分习题答案。

本书除必要的数学推导外,注重讲述基本概念和图形分析。叙述深入浅出,通俗易懂,重点突出,便于自学。

本书可作为高等学校计算机、网络工程、通信工程、信息技术及其他相近专业本科生教材,也可供从事这方面工作的广大科技人员阅读和参考。

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

通信原理 / 孙学军主编. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2007.7
新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业
ISBN 978-7-121-04525-7

I. 通… II. 孙… III. 通信理论—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 078603 号

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

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:18 字数:461 千字

印 次:2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:26.00 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。

再版前言

通信是人类社会传递信息、交流思想、传播知识的重要手段。当今,通信技术正以惊人的速度向前发展。通信与计算机的结合,更为通信技术的飞跃发展注入了新的生机和活力。

通信原理是一门专业基础课,其任务是介绍现代通信系统的基本原理、基本技术、基本分析方法和基本性能。以数字数据通信为主。在内容选取上注重基础性、先进性、实用性、系统性和方向性,理论联系实际,努力反映现代通信技术的最新发展。在文字表达上力求条理清晰、层次分明、循序渐进、深入浅出、通俗易懂。除必要的数学分析外,尽量回避繁琐的数学推导,突出重点,强化物理概念,运用直观的图形分析方法解释物理问题,以便于对学习内容的深刻理解。

本书是在第一版基础上修订的。本次修订从结构上进行了适当的调整,增删了部分内容。全书共分11章。第1、2章是全书的基础,主要介绍通信系统的基本模型、主要指标、信息、信道、传输介质、通信方式、信号及噪声的基本原理,加强了无线电波和噪声的内容,简化了随机过程的叙述,将差错控制的内容移到了第8章。第3章介绍模拟调制原理,为学习数字调制奠定基础。第4、5章主要介绍数字数据传输的基本原理和技术,这一部分也是全书的重点。增加了数字图像、无载波幅度相位调制、网格编码调制和调制解调器的内容,删减了带通信号的采样、数字信号的频谱特性、信号设计、眼图、均衡等内容。第6~9章主要介绍信道复用、多址方式、同步原理、差错控制和系统的性能。增加了正交频分复用、数字载波系统、伪随机码、校验和、卷积码的内容。第10、11章介绍通信网的知识。由于通信网技术发展迅速,新技术不断涌现,本次修订中加强了移动通信网和计算机通信网的内容,增加了IP电话、接入网的内容。由于内容较多,将原来的一章分为了两章。各章后均有习题,书后附录有部分习题答案、公式和数表,供读者学习参考。

本书参考学时为40~60学时。选用本书作为教材,可根据课程设置的具体情况、专业特点和教学要求的侧重点不同进行适当的取舍讲授,灵活掌握。

本书自成系统,便于自学。可作为高等学校计算机、网络工程、通信工程、信息技术和其他相近专业的本科生教材,也可供从事这方面工作的广大科技工作者阅读和参考。

本书由孙学军主编,并编写了第1~3章、第5章和第7~11章,王秉钧和孙学军共同编写第4章和第6章。参加本书编写工作的还有王平、孙岩、董智明、刘磊、孙文怡等。

本书由北京交通大学冯玉珉教授担任主审,对本书提出了许多宝贵意见,在此,我们表示诚挚的感谢。

此外,在本书的编写过程中,得到电子工业出版社的领导和编辑同志们的大力支持,在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏和错误,殷切希望广大读者批评指正。

作者

2006年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统模型	2
1.2 信息及其度量	3
1.3 信道与信道容量	4
1.3.1 信道	4
1.3.2 信道容量	4
1.3.3 传输介质	5
1.4 通信方式	11
1.4.1 串行传输和并行传输	11
1.4.2 异步传输和同步传输	11
1.4.3 单工、半双工和全双工传输	13
1.5 通信系统的主要性能指标	13
习题一	15
第 2 章 信号与噪声	16
2.1 信号的频谱分析	17
2.1.1 傅里叶级数	17
2.1.2 傅里叶变换	18
2.1.3 功率谱密度和能量谱密度	20
2.2 卷积和相关	22
2.2.1 卷积	22
2.2.2 相关	23
2.3 信号通过线性系统的传输	25
2.4 随机信号分析	27
2.4.1 随机过程的概念	27
2.4.2 平稳随机过程	27
2.4.3 随机过程的数字特征	28
2.4.4 遍历性平稳随机过程	30
2.5 随机过程的功率谱	30
2.6 随机过程通过线性系统	32
2.7 噪声	32
2.7.1 噪声类型	33
2.7.2 白噪声	34
2.7.3 乘法器的噪声响应	35
2.7.4 窄带噪声	35
习题二	36

第 3 章 模拟调制系统	38
3.1 幅度调制	39
3.1.1 标准调幅	39
3.1.2 抑制载波双边带调幅	42
3.1.3 单边带调幅	42
3.1.4 残留边带调幅	44
3.1.5 调幅信号的相干解调	46
3.1.6 标准调幅信号的非相干解调	48
3.2 角度调制	49
3.2.1 基本定义	49
3.2.2 宽带调频	51
3.2.3 宽带调相	53
3.2.4 宽带角调波的产生	54
3.2.5 宽带角调波的解调	55
习题三	58
第 4 章 基带数字信号及其传输	60
4.1 低通信号的采样定理	61
4.2 脉冲振幅调制	63
4.3 脉冲编码调制	64
4.3.1 基本原理	65
4.3.2 量化	66
4.3.3 压缩与扩张技术	69
4.3.4 编码	73
4.4 增量调制	74
4.4.1 预测编码的概念	74
4.4.2 增量调制	74
4.5 差分脉冲编码调制	77
4.6 自适应差分脉冲编码调制	78
4.7 图像信号数字化	78
4.7.1 图像信号	78
4.7.2 图像信号数字化	79
4.7.3 数字图像压缩编码的主要国际标准	80
4.8 数字基带信号的常用码型	81
4.9 无码间串扰的基带传输特性	86
4.10 扰码与解扰	89
习题四	90
第 5 章 数字调制系统	92
5.1 二进制数字调制系统	93
5.1.1 二进制数字调制信号的产生	93
5.1.2 二进制数字调制信号的解调	94

5.1.3	二进制数字调制信号的带宽	98
5.2	多进制数字调制系统	99
5.2.1	MASK 系统	99
5.2.2	MFSK 系统	100
5.2.3	MPSK 系统	101
5.3	正交振幅调制	105
5.4	无载波幅度相位调制	107
5.5	交错正交相移键控	107
5.6	最小频移键控	109
5.7	正弦频移键控	111
5.8	平滑调频	112
5.9	调制前高斯滤波的最小频移键控	113
5.10	网格编码调制	115
5.11	调制解调器	116
5.11.1	异步调制解调器	117
5.11.2	同步调制解调器	117
5.11.3	高速调制解调器	119
5.11.4	数字用户线调制解调器	120
	习题五	121
第 6 章	信道复用和多址方式	123
6.1	频分多路复用	124
6.1.1	频分复用	124
6.1.2	波分复用	126
6.1.3	正交频分复用	127
6.2	时分多路复用	128
6.2.1	同步时分复用	128
6.2.2	统计时分复用	129
6.2.3	数字载波系统	131
6.3	多址通信	131
6.3.1	频分多址	132
6.3.2	时分多址方式	133
6.3.3	ALOHA 方式	134
6.4	码分多址	137
6.4.1	伪随机码	138
6.4.2	直接序列扩频码分多址系统	142
6.4.3	跳频码分多址系统	144
	习题六	145
第 7 章	同步原理	146
7.1	载波同步	147
7.1.1	直接提取法	147

7.1.2	插入导频法	147
7.1.3	非线性变换法	148
7.2	位同步	150
7.2.1	插入导频法	150
7.2.2	直接法	151
7.3	帧同步	154
	习题七	157
第 8 章	差错控制原理	158
8.1	差错产生的原因及差错类型	159
8.2	差错控制基本原理	160
8.3	差错控制编码	161
8.3.1	奇偶校验	161
8.3.2	循环冗余校验	162
8.3.3	校验和	164
8.3.4	卷积码	166
8.4	差错控制方法	170
8.4.1	前向纠错	171
8.4.2	自动请求重发	171
8.4.3	FEC/ARQ 混合方式	173
8.4.4	交织方式	173
	习题八	173
第 9 章	通信系统的噪声性能	175
9.1	模拟幅度调制系统的噪声性能	176
9.1.1	相干解调的噪声性能	176
9.1.2	AM 系统非相干解调的噪声性能	179
9.2	模拟角度调制系统的噪声性能	181
9.2.1	宽带调频 (WBFM) 系统的噪声性能	181
9.2.2	宽带调相 (WBPM) 系统的噪声性能	184
9.2.3	调频 (FM) 的门限效应	185
9.2.4	加重技术	186
9.3	二进制 PCM 系统的噪声性能	187
9.4	无码间串扰基带传输系统的噪声性能	188
9.5	最佳基带传输系统的噪声性能	190
9.6	数字调制系统的噪声性能	190
9.6.1	二进制 ASK 系统的噪声性能	191
9.6.2	二进制 FSK 系统的噪声性能	192
9.6.3	二进制 PSK 和 DPSK 系统的噪声性能	194
9.6.4	二进制数字调制系统的简单比较	196
9.7	二进制数字信号最佳接收的噪声性能	197
9.7.1	最佳接收的概念	197

9.7.2	匹配滤波器与相关器	197
9.7.3	二进制数字信号的最佳接收	200
习题九		203
第 10 章	通信网基础	206
10.1	概述	207
10.2	通信网理论基础	209
10.2.1	通信网的基本要求	209
10.2.2	通信网的拓扑结构	210
10.2.3	通信网中的交换技术	211
10.2.4	路由选择	217
10.2.5	业务量控制	221
习题十		225
第 11 章	现代通信网	226
11.1	电话网	227
11.1.1	信令	227
11.1.2	市话网	229
11.1.3	国内长途电话网	230
11.1.4	国际长途电话网	231
11.1.5	IP 电话	232
11.2	计算机通信网	233
11.2.1	概述	233
11.2.2	接口与协议	234
11.2.3	OSI 参考模型	235
11.2.4	TCP/IP 模型	241
11.2.5	计算机通信网的分类	243
11.2.6	局域网	244
11.3	移动通信网	246
11.3.1	移动通信网的分类	247
11.3.2	移动通信网的结构	247
11.3.3	陆地移动通信网	248
11.4	综合业务数字网	250
11.4.1	概述	250
11.4.2	宽带 ISDN	252
11.4.3	ATM 原理	253
11.4.4	光交换	256
11.5	智能网	257
11.5.1	概述	257
11.5.2	智能网的体系结构	258
11.5.3	智能网业务	260
11.5.4	智能网与 Internet 互连	261

11.6 接入网	262
11.6.1 接入网的概念	262
11.6.2 接入技术	262
习题十一	267
附录 A 傅里叶变换的一些性质	269
附录 B 常用傅里叶变换对	270
附录 C 贝塞尔函数表 $J_n(\beta)$	271
附录 D 误差函数表	272
附录 E 部分习题答案	275
参考文献	278

第1章

绪论

内容提要

本章介绍通信的基本概念、通信系统模型、信息与信息度量、信道与信道容量、传输介质、信号通过通信系统的传输方式及通信系统的主要性能指标等。

知识要点

- 通信的概念及特点
- 通信系统的模型
- 信息的概念、信息度量
- 信道的概念、信道容量、传输介质
- 串行传输和并行传输；单工传输、半双工传输和全双工传输；异步传输和同步传输
- 通信系统的有效性和可靠性

教学建议

本章的内容是全书的基础。通过对通信系统的分析，掌握信息通过通信系统传输的规律。数字数据传输是全书讨论的重点，因此本章将数字通信的相关内容作为讨论的重点。

1.1 通信系统模型

通信就是由一地向另一地传递消息。消息的传递是利用通信系统来实现的。通信系统是指完成通信过程的全部设备和传输介质。通信系统有各种各样的形式，其具体设备和业务功能也各不相同。但是，经过抽象和概括，一般都可以用图 1.1 所示的模型来描述。

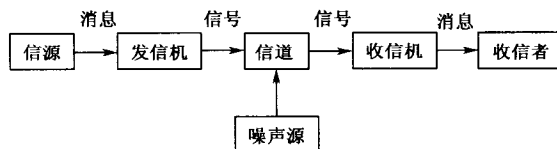


图 1.1 通信系统模型

其中，信源的作用是产生（形成）消息。消息有多种形式，如符号、文字、语音、音乐、数据、图片、活动图像等。消息带有传送给收信者的信息。因此，消息是载荷信息的有次序的符号序列（包括状态、字母、数字等）或连续的时间函数。前者称为离散消息，如书信、电报、数据等；后者称为连续消息，如语音、图片、活动图像等。这里“离散”或“连续”是相对时间而言的。

发信机的作用是将消息转换为适合在信道中传输的信号。信号是消息的直接反映，与消息一一对应。因此，信号是消息的载荷者。在电信系统里，它可以由电压、电流或电波等物理量来体现。通信系统中传输的信号，当它为时间的连续函数时，称为“连续信号”，也称为“模拟信号”。而当载荷信息的物理量（如电信号的幅度、频率、相位等）的改变，在时间上是离散的时，则称为离散信号。如果不仅在时间上离散，且取值也离散而有限，则称之为数字信号。

信道在此是指将信号由发信机传输到受信机的媒介或通道。信道的种类很多，概括起来有两类，即有线信道和无线信道。信道的传输特性对通信质量有直接影响。

在通信系统中，噪声来源很多，它散布在系统各点，为了分析方便，在图 1.1 中将噪声源集中表示在一起。

受信机的作用与发信机相反：完成解调、解码等任务，将信号转换为消息。

收信者是消息传输的对象，它的作用与信源相反。信源和收信者可以是人，也可以是设备，有时也把它们叫做发终端和收终端。

图 1.1 所示的模型是对各种通信系统的简化和概括，它反映通信系统的共性。根据所研究的对象或关心的问题不同，可有不同形式的、具体的通信系统模型。例如，对于模拟通信系统，图 1.1 可具体化为图 1.2。

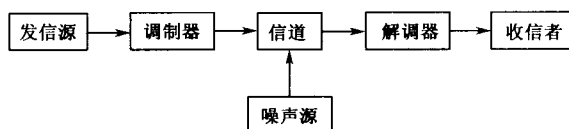


图 1.2 模拟通信系统模型

在模拟通信系统中，发信机简化为调制器，受信机简化为解调器，主要是强调调制在模拟

通信系统中的重要作用。调制在通信系统中主要用来变换信号。从消息变换过来的原始信号称为基带信号（或低通信号），它的特点是其频谱由零频附近开始延伸到某个通常小于几兆赫的有限值。在某些系统中（如市话系统、计算机网络等），基带信号可以直接传输，称为基带传输。但大量的通信系统需要调制，将基带信号变换为更适合于信道传输的形式。例如，在无线系统中，基带信号必须变换到射频波段才能进行有效的传输。即使在有线信道，有时也需经过调制使信号频率和信道的有效传输频带相适应。调制对通信系统是至关重要的，调制方式在很大程度上能决定系统可能达到的性能。从原则上讲，调制和解调对信号的变换起着决定性的作用，它们是保证通信质量的关键。至于其他处理过程都可以看做是理想的，可将它们合并到信道中去。

对于数字通信系统，图 1.1 可具体化为图 1.3。其中信源编码是用来提高传输有效性而对信号采取的处理功能。数字加密在此归并到了信源编码中。信道编码是为了提高传输可靠性的纠错编码。所谓编码，是指在数字通信系统里，为了某种目的而对数字信号进行的变换。进行编码的设备称为编码器。

应当指出，实际数字通信系统并非必须包括图 1.3 中的所有环节，如基带传输系统就不包括调制与解调环节。至于采用哪些环节，取决于具体的设计和要求。此外，在数字通信中同步系统是不可缺少的。但因它的位置往往不是固定的，因此图中没有画出。

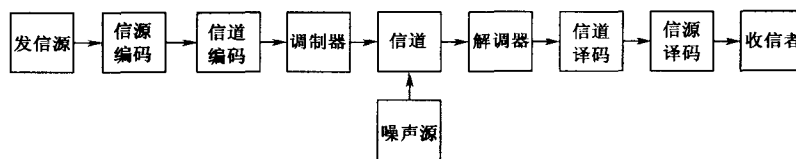


图 1.3 数字通信系统模型

最后应该指出，虽然本节提供的是通信系统最简化的模型，但是它们却决定着通信系统的质量。本课程主要是讨论通信系统的基本原理、技术和性能，解决通信系统中的一些共性问题。因此，本课程的讨论可以说是围绕通信系统模型进行的。

1.2 信息及其度量

通信系统中传输的具体对象是消息，但是通信的最终目的是传递信息。因此，在研究具体通信系统之前需要明确信息的含义。

信息是今天应用最广泛、使用最频繁的词汇之一。我们经常可以听到人们谈论“信息时代”、“信息交流”、“信息服务”、“信息量”等。这里使用的多是信息的社会概念，是和消息混在一起的。但在信息论中信息和消息是有区别的。消息可以包含信息，也可能完全不包含信息。在科学技术上，“信息”的概念是要把实际生活中原始的、含糊不清的概念加以提炼、概括、抽象和深化。我们通常把文字、语音、数据、图像等都看做是“消息”的集合，这些消息集合具有一定的统计或者概率特性，因而将“信息”定义为对消息统计特性的一种定量描述。更具体地说，当人们得到消息之前，对它的内容有一种“不确定性”，信息就是对这种不确定性的定量描述。

当人们得到消息后，若消息所描述事件发生的可能性越小，就认为这个消息带给他的信息量越大。可见，信息的量值与消息所代表事件的随机性或事件发生的概率有关。从这点出发，

信息论利用统计学概念对信息提出了一种度量方法，把度量信息大小的物理量称为信息量，也称信息。

设消息所代表的事件出现的概率为 $P(x)$ ，则该消息所含有的信息量

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \tag{1.1}$$

式中，若对数底 $a=2$ ，则信息量的单位为比特（bit），它代表出现概率为 $1/2$ 的消息所含有的信息量。在通信系统中，当所传递的消息是两个等概率的消息之一时，任一消息所含有的信息量为 1 比特。在实际中，常把 1 位二进制数称为 1 比特，而不管这两个符号的出现概率是否相等。

1.3 信道与信道容量

1.3.1 信道

前面把信道定义为发信机和收信机之间用以传输信号的媒介或通道。但是，在通信系统中，为了简化系统的模型和突出重点，常常把信道范围适当扩大，除了传输媒介外，还包括有关的部件和电路，如调制器与解调器等。这种范围扩大了的信道称为广义信道，相应地把仅指传输媒介的信道称为狭义信道。

在通信系统中，常用的一种广义信道是调制信道，其范围从调制器的输出端至解调器的输入端，如图 1.4 所示。在此之间的一切部件和媒介，都是为了把已调信号由调制器输出端传输到解调器输入端，因此，可将其视为传输已调信号的一个整体——调制信道。

在数字通信系统中，如果仅研究编码和解码问题，则可得到另一种广义信道——编码信道。编码信道的范围是从编码器输出端至解码器输入端，如图 1.4 所示。这之间的一切环节都是为了传输数字编码信号，所以可以把其看做是一个整体——编码信道。

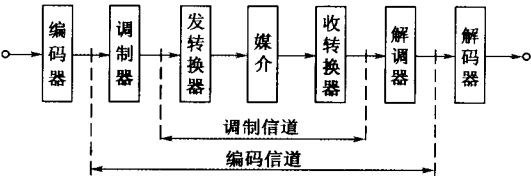


图 1.4 调制信道和编码信道

信道是通信系统中不可缺少的一部分，其特性对信号传输有很大的影响。信道种类繁多，限于篇幅，不一一介绍。

1.3.2 信道容量

对于连续信道，若 B 为信道带宽，在加性高斯白噪声的干扰下，根据香农信息论，其信道容量

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \text{ (b/s)} \tag{1.2}$$

式中， N 为噪声的平均功率， S 为信号的平均功率， S/N 为信噪功率比，简称信噪比。信道容

量 C 是指信道可能传输的最大信息速率（即信道能达到的最大传输能力）。由上式可得出以下结论：

（1）任何一个信道，都有信道容量 C 。如果信息速率 $R \leq C$ ，理论上存在一种方法，能以任意小的差错概率通过信道传输；如果 $R > C$ ，在理论上无差错传输是不可能的。

（2）对于给定的 C ，可以用不同的带宽和信噪比的组合来传输。若减小带宽，则必须加大发送的功率，即增大信噪比 S/N ；若有较大的传输带宽，则可用较小的信号功率（即较小的 S/N ）来传送。这表明宽带系统表现出较好的抗干扰性。因此，当信噪比太小，不能保证通信质量时，可采用宽带系统，以改善通信质量。这就是带宽和信噪比的互换，调制和编码过程就是实现带宽与信噪比互换的手段。

（3）由于信息速率 $C = I/T$ ， T 为传输时间，代入式（1.2）则可得

$$I = TB \log_2(1 + S/N) \quad (1.3)$$

可见，当 S/N 一定时，给定的信息量可以用不同的带宽和时间 T 的组合来传输。与带宽和信噪比互换类似，带宽和时间也可以互换。

【例 1.1】 用于传输数据的模拟信道一些典型参数为：信道带宽 $B=3000\text{Hz}$ ，信号功率 $S=0.0001\text{W}$ ，信道噪声功率 $N=0.0000004\text{W}$ ，求该信道的信息传输速率 C 。

解：将上述参数代入式（1.2）

$$\begin{aligned} C &= B \log_2(1 + S/N) \\ &= 3000 \log_2(1 + 0.0001/0.0000004) \\ &\approx 24000 \text{ (b/s)} \end{aligned}$$

【例 1.2】 某信道的频率范围处于 $3\text{MHz} \sim 4\text{MHz}$ 之间，信噪比为 24dB ，求该信道的信息传输速率。

解：信道带宽 $B = 4\text{MHz} - 3\text{MHz} = 1\text{MHz}$

$$10 \log(S/N) = 24\text{dB}$$

$$\therefore S/N = 251$$

则

$$\begin{aligned} C &= B \log_2(1 + S/N) \\ &= 10^6 \times \log_2(1 + 251) \\ &= 10^6 \times \log_2 252 \\ &\approx 10^6 \times 8 = 8 \text{ (Mb/s)} \end{aligned}$$

实际信道一般达不到按香农公式计算出的 C 值，因为在每条信道中都有许多没有考虑的衰减因素，该公式只是提供了信道信息传输速率的理论上限。

1.3.3 传输介质

传输介质是通信系统中连接收发双方的物理通路，也是通信过程中消息传送的载体。传输介质分为硬传输介质和软传输介质两类。硬传输介质包括：双绞线、同轴电缆、光纤等。软传输介质包括：无线电波、地面微波、卫星链路、激光、红外线等。

系统的传输特性和质量，不但与信号性质有关，还与介质的特性有关。当采用硬传输介质时，介质本身的特性对传输极限的影响极为重要。例如，介质本身的带宽就限制了系统的带宽。对于软传输介质，发送信号的带宽对传输特性影响起决定性作用。因为带宽不同，允许的数据传输速率也不同。带宽越宽，数据传输速率就越高。

本节就通信系统中常用的传输介质进行讨论，它们是：双绞线、同轴电缆、光纤、无线电波、地面微波、卫星链路、激光、红外线等。

1. 双绞线

双绞线是由两根各自封装在彩色塑料皮内的铜线互相扭绞而成的，扭绞的目的是使它们之间的干扰最小。多对双绞线外套一保护套构成双绞线电缆，通过相邻线对间变换的扭距，可使

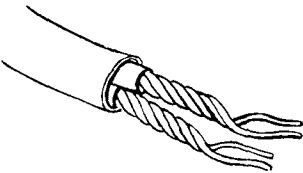


图 1.5 双绞线结构示意图

同一电缆内各线对间干扰最小。双绞线分为屏蔽型（STP）和非屏蔽型（UTP）两种类型。其结构示意图如图 1.5 所示。STP 是在 UTP 外面再加上一个由金属丝编织而成的屏蔽层，以提高其抗电磁干扰的能力。因此，STP 抗外界干扰性能优于 UTP。但 UTP 要比 STP 价格便宜。

相互扭绞的一对双绞线可作为一条通路，其输入阻抗有 100Ω和 150Ω两种。双绞线可用于传输模拟信号，也可用于传输数字信号。电话线就是双绞线的一种。双绞线的带宽取决于铜线的粗细和传输距离。用于传输模拟信号，每隔 5~6km 需要一级放大；用于传输数字信号每隔 2~3km 就要用转发器转发一次。双绞线用做远程中继线时，最大传输距离为 15km，用于局域网时，与集线器间的最大距离为 100m。双绞线的抗干扰性能取决于双绞线电缆中相邻线对的扭曲长度及适当的屏蔽。

电子工业协会（EIA）和电信工业协会（TIA）联合制定了用于规范各种建筑物布线参数的标准。该标准的正式名称为 EIA/TIA-568 标准，该标准规范了一系列布线参数。EIA/TIA-568 标准将 UTP 电缆分为五类，其分类及应用如表 1.1 所示。

表 1.1 UTP 电缆分类

类 别	描 述
1	语音或 56Kb/s 以下的数据，不用于局域网
2	1Mb/s 以下的数据
3	16Mb/s 以下的数据
4	20Mb/s 以下的数据
5	100Mb/s 以下的数据

三类电缆通常用于以太网和 4Mb/s 以下的令牌环局域网。四类电缆常用于 16Mb/s 的令牌环局域网，而五类电缆则支持 100Mb/s 的以太网及 155Mb/s ATM 到桌面的连接。正在研制中的更高性能的电缆称为六类和七类电缆，将分别支持超过 200Mb/s 和 600Mb/s 的数据速率。目前，不同类型的 UTP 电缆的价格差别不大，所以一些单位在构建局域网时采用五类或超五类 UTP 电缆，以适应局域网的发展。

计算机网络中常用三类和五类 UTP。三类 UTP 的带宽是 16MHz，最高数据传输速率是 16Mb/s。五类 UTP 的带宽是 100MHz，最高数据传输速率是 100Mb/s。二者的关键不同在于电缆内每单位长度上的扭绞数。五类 UTP 的扭绞数多于三类，其典型值是每英寸 3~4 扭绞；而三类 UTP 的典型值是每英尺 3~4 扭绞。五类 UTP 更紧密的扭绞提供了比三类 UTP 更好的性能，当然价格也比三类 UTP 贵。表 1.2 给出了三类和五类 UTP 及 150Ω的 STP 每百米衰减特性的比较。

表 1.2 屏蔽和非屏蔽双绞线的衰减比较/dB/100m

频率/MHz	三类 UTP	五类 UTP	150Ω STP
1	2.6	2.0	1
4	5.6	4.1	2.2
16	13.1	8.2	4.4
25	—	10.4	6.2
100	—	22.0	12.3
300	—	—	21.4

2. 同轴电缆

同轴电缆是一种应用非常广泛的传输介质，其结构如图 1.6 所示。它由内导体、绝缘层、外导体层及外部保护层组成。其特性由内外导体和绝缘层的电参数、机械尺寸等决定。根据它的频率特性分为两类：视频（基带）电缆和射频（宽带）电缆。基带同轴电缆可用于数字数据信号的直接传输；宽带同轴电缆用于传输高频信号，利用频分多路复用技术可在一条同轴电缆上传送多路信号。

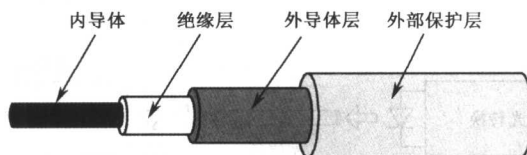


图 1.6 同轴电缆结构示意图

同轴电缆特性阻抗有 50Ω 和 75Ω 两种。 50Ω 同轴电缆只用于传输数字基带信号，数据速率可达 10Mb/s 。无线电工程多用 75Ω 的宽带电缆，用于传输模拟信号。基带同轴电缆的最大传输距离一般不超过几公里，而宽带同轴电缆的最大传输距离可达几十公里。由于同轴电缆比双绞线屏蔽性好，故其抗电磁干扰能力强，能在更高速率上传输更远的距离，维护使用也方便。

3. 光纤

光纤是一种直径为 $50\sim 100\mu\text{m}$ 的、柔软的、能传导光波的介质，它可由玻璃和塑料构成，其中使用超高纯度石英玻璃制作的光纤具有最低的传输损耗。在折射率较高的单根光纤外面，再用折射率较低的包层包住，就可以构成一条光通道，外面再加一保护套，即构成一单芯光导纤维电缆，即单芯光缆，其结构如图 1.7 (a) 所示。多条光纤放在同一保护套内，就构成多芯光缆，如图 1.7 (b) 所示。光缆是有线传输介质中性能最好、最具发展前途的一种。

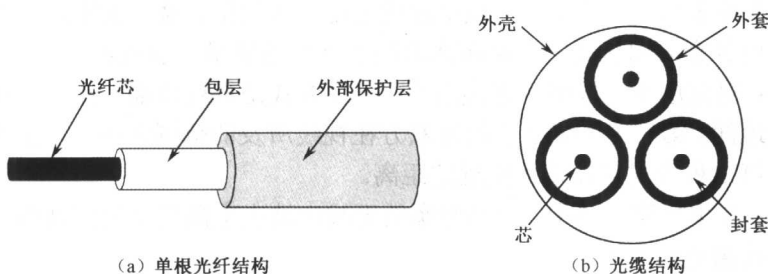


图 1.7 光缆结构示意图