

新一代信息通信规划教材

通信导论

TONG XIN DAO LUN

魏更宇 孙岩 张冬梅 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

通 信 导 论

魏更宇 孙 岩 张冬梅 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书以通信的基本概念为核心,按照先概念后技术再系统的方法从全程全网的角度介绍了通信的基本理论和各类典型通信系统。

本书作为面向初学者的教材,使用简明的描述与图例相结合,帮助读者理解通信的基本内容。本书可作为高等院校电子、通信和计算机专业低年级本科生的教材,也可作为通信与计算机网络领域初学人员的入门参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信导论/魏更宇,孙岩,张冬梅编著. —北京:北京邮电大学出版社,2004

ISBN 7-5635-0869-4

I. 通... II. ①魏...②孙...③张... III. 通信理论 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 124737 号

书 名: 通信导论

编 著: 魏更宇 孙岩 张冬梅

责任编辑: 马莹娜

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.25

字 数: 395 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0869-4 / TN·357

定 价: 27.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

近 20 年来,中国通信事业经历了翻天覆地的变化。以目前人们身边最常接触的通信方式为例,无论是移动电话,还是固定电话,其发展速度都令人瞠目。截至 2004 年 9 月份,中国固定电话用户(含小灵通)已达 30 692.3 万户,移动电话用户达到 32 007.1 万户。中国已然成为世界第一大电信市场。我国通信业的发展势头不减,电信服务水平进一步提高,继续保持对国民经济的快速拉动作用,正在成为引领经济社会可持续发展的重要因素。

反观通信市场蓬勃发展的支持力量,通信领域的技术发展真是日新月异。我们清楚地看到,通信技术和计算机技术的融合已成为通信发展的大势所趋。在通信方式方面,无线通信由于具有灵活性、个人性等优点,渐渐成为目前发展的重点;特别是眼下 3G 还未尘埃落定,各大电信设备制造商正在这个领域内投入巨资以求瓜分市场,获得长期回报。在核心网络方面,IP 已经成为通信技术发展的主流,Everything over IP、IP over Everything 已成为通信业界的共识。在交换技术方面,基于 IP 核心网的以软交换为核心控制设备的下一代网络 NGN 也已成为业界研究的重点,并已有产品、方案推向市场。在干线传输方面,光传输已成为主流,并且容量越来越大,方式也由 PDH、SDH 等进步为 WDM、DWDM 等。

以上只是对目前通信市场和通信技术的一些侧面的简单描述。一叶知秋,作为教授《通信概论》这门课程的教师,我们发现原来的教材已经无法跟上现代通信技术的发展,无法反映最新的前沿通信技术的变化。所以迫切需要编纂一本教材,能够反映通信网络和通信技术的发展变化。

既然是引领初学者入门的“概论”,那么编写的指导思想就是:一方面要全,涵盖当今通信技术、通信网络的各个主要方面;另一方面要准,只把那些反映各种通信技术、通信网络的本质的、基本的概念、知识介绍出来。

本书以通信的基本知识为核心,按照先概念后技术再系统的方法从全程全网的角度介绍了通信的基本理论和各类典型的通信系统。全书内容主要分为两部分,第一部分(第 1 章至第 5 章)主要介绍通信的基本概念和原理,第二部分(第 6 章至第 13 章)主要介绍

各类基本通信系统。本书可作为高等院校电子、通信和计算机专业低年级本科生的教材，也可作为通信与计算机网络领域初学人员的入门参考书。

本书共分13章，第1、2、3、4、5、12章由孙岩执笔，第6、7、8、9、10、11、13章由张冬梅执笔，全书由魏更宇审阅。在本书的编纂过程中，得到了解解、张海阳、陈磊等同志的大力帮助，高卫东、张伯岭和段鹏瑞为本书提供了资料。谨向他们表示衷心的感谢！

本书的编纂经历了2004年夏、秋、冬三个季节。由于时间仓促，并且囿于作者水平有限，书中难免会有一些缺陷和不足之处，敬请各位专家和广大读者不吝斧正。

作者

于北京邮电大学

计算机科学与技术学院

目 录

第1章 通信系统概述

1.1 通信的基本概念	1
1.1.1 通信	1
1.1.2 通信系统	4
1.1.3 通信网络	6
1.2 通信的发展历程	7
1.2.1 通信技术的发展历程	7
1.2.2 通信网络的发展历程	8
1.3 通信的发展趋势	10
1.3.1 通信技术的发展趋势	10
1.3.2 通信行业中的标准与法规	12
1.4 本书概述	13
1.4.1 传输介质	13
1.4.2 信号的传输技术	13
1.4.3 信号的数字化处理技术	13
1.4.4 信号的交换	13
1.4.5 语音通信	14
1.4.6 数据通信概述	14
1.4.7 局域网	14
1.4.8 广域网	14
1.4.9 互联网	14
1.4.10 综合业务与多媒体	14
1.4.11 卫星与移动蜂窝通信	14
1.4.12 无线通信	15

第2章 传输介质

2.1 传输介质的基本概念	16
2.1.1 传输介质	16
2.1.2 传输介质的分类	16

2.1.3 传输介质与传输技术的设计	17
2.2 双绞线	18
2.2.1 双绞线的概述	18
2.2.2 双绞线的特点	20
2.2.3 双绞线的应用	20
2.3 同轴电缆	21
2.3.1 同轴电缆的概述	21
2.3.2 同轴电缆的特点	22
2.3.3 同轴电缆的应用	22
2.4 无线信道	22
2.4.1 无线信道的基本概念	22
2.4.2 电磁波在无线信道中的传播	23
2.4.3 无线信道的传播模型	24
2.4.4 无线信道的特点	26
2.5 无线信道的微波频段	27
2.5.1 微波频段的定义	27
2.5.2 微波频段的特点	27
2.5.3 地面视距信道	27
2.5.4 微波通信的主要应用	28
2.6 光纤	30
2.6.1 光纤通信的概念与基本原理	30
2.6.2 光纤的工作窗口	31
2.6.3 光纤的相关概念	31
2.6.4 光纤作为传输介质的主要特点	34

第3章 信号的传输技术

3.1 传输技术概述	36
3.1.1 传输技术的发展	36
3.1.2 调制技术的概念	36
3.1.3 调制技术的分类	37
3.2 模拟信号的调制传输	37
3.2.1 基本概念	37
3.2.2 幅度调制	37
3.2.3 频率调制	40
3.2.4 相位调制	41
3.3 数字信号的基带传输	41
3.3.1 数字基带传输概述	41

3.3.2	数字基带传输的码型设计	44
3.3.3	数字基带传输的波形设计	46
3.4	数字信号的调制传输	47
3.4.1	基本概念	47
3.4.2	振幅键控	47
3.4.3	频移键控	48
3.4.4	相移键控	49
3.5	光信号的传输	52
3.5.1	光信号传输的基本原理	52
3.5.2	光纤通信系统的基本组成	53
3.5.3	光波分复用	56
3.5.4	光纤通信技术的发展方向	57
第4章	信号的数字化处理技术	
4.1	模拟信号的数字化	58
4.1.1	A/D变换	58
4.1.2	D/A变换	60
4.2	多路复用技术	60
4.2.1	频分复用	61
4.2.2	时分复用	61
4.2.3	码分复用	62
4.3	数字复接技术	63
4.3.1	数字复接的基本概念	63
4.3.2	数字复接系统的组成	63
4.3.3	数字信号的复接方法	64
4.3.4	数字复接中的码速调整	65
4.4	同步技术	66
4.4.1	同步技术及分类	66
4.4.2	载波同步	67
4.4.3	位同步	68
4.4.4	帧同步	68
4.4.5	网同步	68
4.5	同步数字系列	69
4.5.1	SDH技术的产生	69
4.5.2	SDH技术的特点	71
4.5.3	SDH中的帧结构	72
4.5.4	SDH的复用技术	73

4.5.5 SDH 的组网方式	75
4.5.6 SDH 的应用现状	78
第 5 章 信号的交换	
5.1 交换技术概述	80
5.1.1 基本概念	80
5.1.2 交换技术的发展	82
5.2 数字程控交换	85
5.2.1 呼叫处理的一般过程	85
5.2.2 数字交换网络的工作原理	86
5.2.3 程控交换机的组成	88
5.2.4 程控交换机的分类	89
5.3 ATM 交换	89
5.3.1 ATM 交换原理	89
5.3.2 ATM 交换机的结构	90
5.3.3 ATM 交换结构	91
5.4 以太网交换	91
5.4.1 交换式以太网的发展	91
5.4.2 交换式以太网的特点	92
5.4.3 以太网交换技术的类型	92
5.4.4 虚拟局域网技术	93
5.5 光交换	93
5.5.1 光交换的基本概念	93
5.5.2 光交换的实现方式	94
5.5.3 光交换技术的分类	95
5.5.4 光交换技术未来的发展	96
第 6 章 话音通信	
6.1 公用交换电话网	97
6.1.1 PSTN 概述	97
6.1.2 PSTN 的结构	98
6.1.3 PSTN 的编号计划	100
6.1.4 PSTN 的业务	101
6.2 信令与信令网	104
6.2.1 信令系统概述	104
6.2.2 No.7 信令系统与信令网	106
6.3 智能网	111
6.3.1 智能网概述	111

6.3.2	智能网的概念模型	112
6.3.3	智能网的结构	113
6.3.4	智能网的标准	115
6.3.5	智能网的应用	117
第7章 数据通信基础		
7.1	数据通信的演变	119
7.2	数据通信概述	121
7.3	数据通信的系统模型和功能	122
7.4	数据传输方式	124
7.5	数据通信的关键技术	127
7.5.1	数据传输技术	127
7.5.2	数据交换技术	130
7.5.3	差错控制技术	132
7.6	数据通信系统的技术指标	136
7.6.1	数据传输速率	136
7.6.2	数据传输质量	137
7.7	数据通信网	137
7.8	OSI 参考模型与协议	138
7.8.1	OSI 参考模型	138
7.8.2	协议与服务	140
第8章 局域网		
8.1	局域网概述	142
8.2	局域网技术	143
8.2.1	体系结构与协议	143
8.2.2	传输介质	143
8.2.3	网络拓扑结构	144
8.2.4	介质访问控制技术	146
8.2.5	网络互联	147
8.3	以太网	152
8.3.1	以太网概述	152
8.3.2	以太网的关键技术	152
8.3.3	几种常见的以太网	153
8.4	家庭网	156
8.4.1	家庭网概述	156
8.4.2	家庭网的组网技术	158
8.4.3	家庭网的应用前景	158

第9章 广域网

9.1 广域网概述	160
9.2 广域网技术	162
9.2.1 分组交换	162
9.2.2 路由选择	165
9.2.3 拥塞控制	167
9.3 X.25 技术	171
9.3.1 X.25 概述	171
9.3.2 X.25 网络的优缺点	172
9.3.3 X.25 协议简介	173
9.4 帧中继技术	174
9.4.1 帧中继概述	174
9.4.2 帧中继技术的特点	175
9.4.3 帧中继的应用	175
9.5 ATM 网技术	176
9.5.1 ATM 概述	176
9.5.2 ATM 技术的特点	177
9.5.3 ATM 的网络参考模型	178
9.5.4 ATM 技术的应用	179

第10章 互联网

10.1 互联网概述	181
10.2 互联网的基本原理与关键技术	182
10.2.1 IP 地址与域名	182
10.2.2 IP 网络的基本原理	184
10.2.3 互联网的关键技术	189
10.3 因特网	190
10.3.1 因特网概述	191
10.3.2 因特网的接入	191
10.3.3 因特网的技术特点	193
10.3.4 因特网的应用	196

第11章 综合业务和多媒体通信

11.1 综合业务数字网	201
11.1.1 综合业务数字网概述	201
11.1.2 ISDN 的网络参考模型与网络结构	202
11.1.3 ISDN 中的用户-网络接口	204

11.1.4	ISDN 的业务与应用	206
11.1.5	宽带综合业务数字网(B-ISDN)	209
11.2	多媒体通信	212
11.2.1	多媒体概述	212
11.2.2	多媒体通信基础	214
11.2.3	多媒体通信的相关技术	216
11.2.4	多媒体系统的应用	221
第 12 章 卫星和蜂窝移动通信		
12.1	卫星通信	222
12.1.1	卫星通信概述	222
12.1.2	典型的卫星移动通信系统	224
12.1.3	甚小天线地球站(VSAT)系统	226
12.1.4	卫星通信系统的发展趋势	227
12.2	蜂窝移动通信	228
12.2.1	蜂窝移动通信概述	228
12.2.2	蜂窝移动通信的关键技术	230
12.2.3	GSM 移动通信系统	231
12.2.4	IS-95 CDMA 移动通信系统	235
12.2.5	第三代移动通信系统	239
第 13 章 无线通信		
13.1	无绳系统和无线本地环	241
13.1.1	无绳系统	241
13.1.2	无线本地环	243
13.2	短距离无线通信	246
13.2.1	短距离无线通信概述	246
13.2.2	无线局域网(WLAN IEEE 802.11)	247
13.2.3	无线个人区域网	250
参考文献		261

1.1 通信的基本概念

1.1.1 通信

1. 通信的定义

通信按传统理解就是信息的传输与交换,信息可以是语音、文字、符号、音乐、图像等等。任何一个通信系统,都是从一个称为信息源的时空点向另一个称为信宿的目的点传递信息。以各种通信技术,如以长途和本地的有线电话网(包括光缆、同轴电缆网)、无线电话网(包括卫星通信、微波中继通信网)、有线电视网和计算机数据网为基础组成的现代通信网,通过多媒体技术,可为家庭、办公室、医院、学校等提供文化、娱乐、教育、卫生、金融等广泛的信息服务。可见,通信网络已成为支撑现代社会的最重要的基础结构之一。

(1) 通信的定义

通信是传递信息的手段,即将信息从发送器传送到接收器。

(2) 相关概念

① 信息:可被理解为消息中包含的有意义的内容。

信息一词在概念上与消息的意义相似,但它的含义却更普通化、抽象化。

② 消息:消息是信息的表现形式,消息具有不同的形式,例如符号、文字、语音、音乐、数据、图片、活动图像等。也就是说,一条信息可以用多种形式的消息来表示,不同形式的消息可以包含相同的信息。例如,分别用文字(访问特定网站)和语音(拨打121特服号)发送的天气预报,所含信息内容相同。

③ 信号:信号是消息的载体,消息是靠信号来传递的。信号一般为某种形式的电磁能(电信号、无线电、光)。

(3) 通信的目的

通信的目的是为了完成信息的传输和交换。

2. 消息、信息与信号

(1) 消息、信息与信息量

一般将语言、文字、图像或数据称为消息,将消息给予受信者的新知识称为信息。因此,消息与信息不完全是一回事,有的消息包含较多的信息,有的消息根本不包含任何信息,为了更合理地评价一个通信系统传递信息的能力,需要对信息进行量化——用“信息

量”这一概念表示信息的多少。

如何评价一个消息中所含信息量为多少呢？既可以从发送者的角度来考虑，也可以从接收者的角度来考虑。一般从接收者的角度来考虑，当人们得到消息之前，对它的内容有一种“不确定性”或者说是“猜测”。当受信者得到消息后，若事前猜测消息中所描述的事件发生了，就会感觉没多少信息量，即已经被猜中；若事前的猜测没发生，发生了其他的事，受信者会感到很有信息量，事件若越是出乎意料，那么信息量就越大。

事件出现的不确定性，可以用其出现的概率来描述。因此，消息中信息量 I 的大小与消息出现的概率 P 密切相关。如果一个消息所表示的事件是必然事件，即该事件出现的概率为 100%，则该消息所包含的信息量为 0；如果一个消息表示的是不可能事件，即该事件出现的概率为 0，则这一消息的信息量为无穷大。

为了对信息进行度量，科学家哈莱特提出采用消息出现概率倒数的对数作为信息量的度量单位。

定义：若一个消息出现的概率为 P ，则这一消息所含的信息量 I 为：

$$I = \log_a 1/P$$

当 $a = 2$ ，信息量单位为比特(bit)；

$a = e$ ，信息量单位为奈特(nit)；

$a = 10$ ，信息量单位为哈莱特。

目前应用最广泛的是比特，即 $a = 2$ 。以下举例说明信息量的含义：

不可能事件 $P = 0, I = \infty$ ；

小概率事件 $P = 0.125, I = 3$ ；

大概率事件 $P = 0.5, I = 1$ ；

必然事件 $P = 1, I = 0$ 。

可见，信息量 I 是事件发生概率 P 的单调递减函数。

图 1-1 讨论了对于等概率出现的离散消息的度量。

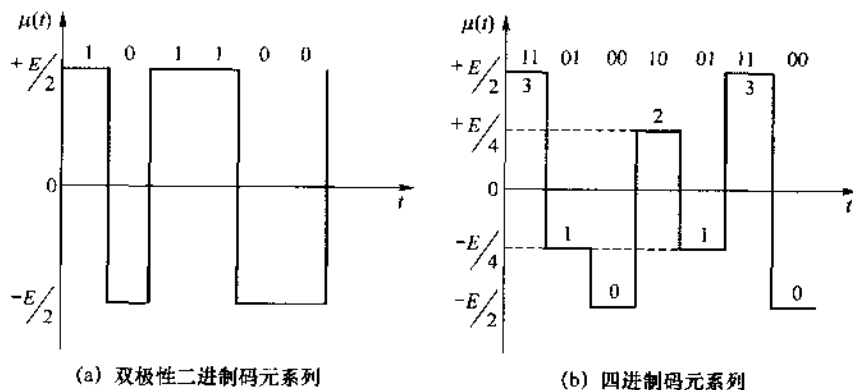


图 1-1 二进制和四进制码元系列

对于双极性二进制码元系列，只有两个计数符号(0 和 1)的进制码系列，如果 0、1 出

现的概率相等,即 $P(0) = P(1) = 1/2$,那么任何一个 0 或 1 码元的信息量为:

$$I = \log_2 \frac{1}{P(0)} = \log_2 \frac{1}{P(1)} = \log_2 2 = 1(\text{bit})$$

对于四进制码元系列,共有四种不同状态:0、1、2、3,每种状态必须用两位二进制码元表示,即 00、01、10、11。如果每一种码元出现的概率相等,即 $P(0) = P(1) = P(2) = P(3) = 1/4$,那么任何一种 0、1、2、3 码元的信息量为:

$$I = \log_2 \frac{1}{P(0)} = \log_2 \frac{1}{P(1)} = \log_2 \frac{1}{P(2)} = \log_2 \frac{1}{P(3)} = \log_2 4 = 2(\text{bit})$$

由以上分析可知:多进制码元包含的信息量大,所以采用多进制信息编码时,信息传输效率高。当采用二进制时,噪声电压大于 $E/2$,才会引起误码;而当采用四进制时,只要噪声电压大于 $E/4$,就会引起误码,因此,进制数越大,抗干扰能力也就越差。

(2) 信号的时域分析

时域:信号的表示形式是时间的函数。

$$\mu(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

其中,三个重要参数是:幅度(振幅)、频率和相位。

U_m ——正弦波的幅度,表示正弦波的最大值;

ω_0 ——正弦波的角频率, $\omega_0 = 2\pi f_0$;

f_0 ——正弦波的频率,表示正弦波在单位时间内重复变化的次数,单位是 Hz;

φ ——正弦波的初相位, $t=0$ 时, $\mu(0) = U_m \cos \varphi$,即 φ 值决定 $\mu(0)$ 的大小。

时域信号的波形如图 1-2 所示。

(3) 信号的频域分析

在通信领域中,信号的频域观点比时域观点更为重要。如果不考虑相位,正弦波的时域表达式为:

$$\mu(t) = U_m \cos(\omega_0 t) = U_m \cos(2\pi f_0 t)$$

根据傅立叶变换,其频域表达式为:

$$\mu(\omega) = U_m \pi [\delta(\omega + \omega_0) + \delta(\omega - \omega_0)]$$

频域波形如图 1-3 所示。

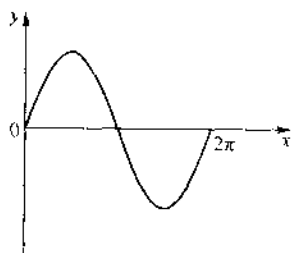


图 1-2 正弦信号时域波形图

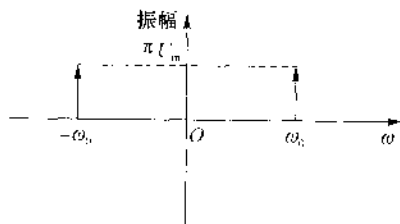


图 1-3 正弦信号频域波形图

下面以一个例子说明信号的时域分析与频域分析之间的变换关系。一个时域信号由两个正弦波信号叠加构成:其一,幅度为 3 V,频率为 1 Hz;其二,幅度为 1 V,频率为 3 Hz。信号的时域波形如图 1-4 所示。

信号的频谱图如图 1-5 所示。

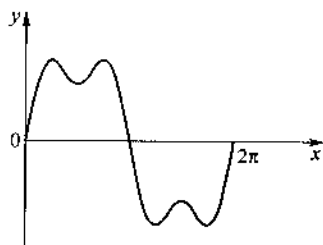


图 1-4 叠加信号的时域波形图

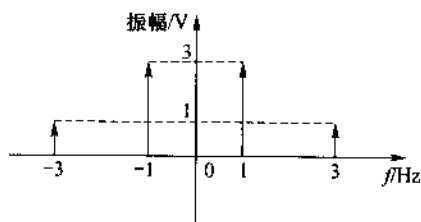


图 1-5 叠加信号的频域波形图

其中,两条谱线的长度分别代表两个正弦波的幅度,谱线在频率轴的位置分别代表两个正弦波的频率。

利用傅里叶变换,任何信号都可以被表示为各种频率的正弦波的组合。信号在时域缩减,叫做频域展宽;信号在时域展宽,叫做频域缩减。也就是说,信号的时间周期越长,则频率越低;反之,信号的时间周期越短,则频率越高。

1.1.2 通信系统

通信系统是以实现通信为目标的硬件、软件以及人的集合。

1. 通信系统的模型

图 1-6 是一个基本的点到点通信系统的一般模型。

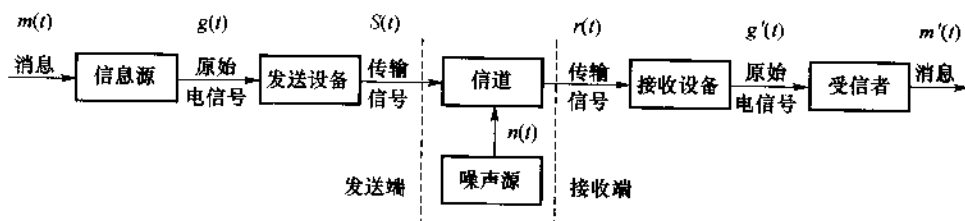


图 1-6 通信系统的一般模型

其中,各部分的功能如下:

- 信息源——把各种可能消息转换成原始电信号;
- 发送设备——为了使原始电信号适合在信道中传输,对原始电信号变换成与传输信道相匹配的传输信号;
- 信道——信号传输的通道;
- 接收设备——从接收信号中恢复出原始电信号;
- 受信者——将复原的原始电信号转换成相应的消息。

要传送的信息(消息)是 $m(t)$,其表达形式可以是语言、文字、图像、数据……,经输

入设备处理,将其变换成输入数据 $g(t)$,并传输到发送设备(发送机)。通常 $g(t)$ 并不是适合传输的形式(波形和带宽),在发送机中,它被变换成与传输媒质特性相匹配的传输信号 $S(t)$,经传输媒质一方面为信号传输提供通路,另一方面衰减信号并引入噪声 $n(t)$,形成了 $r(t)$ 。 $r(t)$ 是受到噪声干扰的 $S(t)$,是接收机恢复输入信号的依据。 $r(t)$ 的质量决定了通信系统的性能, $r(t)$ 经接收设备转换成适合于输出的形式 $g'(t)$,它是输入数据 $g(t)$ 的近似或估值。最后,输出设备将由 $g'(t)$ 传出的信息 $m'(t)$ 提交给终点的经办者,完成一次通信。事实上,噪声只对输出造成影响,可以将整个系统产生的噪声等同成一个噪声源。

根据所要研究的对象和所关心的问题重点的不同,又可以使用形式不同的具体模型。

2. 模拟通信系统与数字通信系统

通信系统中的消息可以分为:

- 连续消息(模拟消息)——消息状态连续变化,如语音、图像;
- 离散消息(数字消息)——消息状态可数或离散,如符号、文字、数据。

信号是消息的表现形式,消息被承载在电信号的某一参量上,因此信号同样可以分为:

- 模拟信号——电信号的该参量连续取值,如普通电话机收发的语音信号;
- 数字信号——电信号的该参量离散取值,如计算机内 PCI/ISA 总线的信号。

模拟信号和数字信号可以互相转换。因此,任何一个消息既可以用模拟信号表示,也可以用数字信号表示。

相应的,通信系统也可以分为模拟通信系统与数字通信系统两大类

(1) 模拟通信系统:模拟通信系统在信道中传输的是模拟信号,模型如图 1-7 所示。

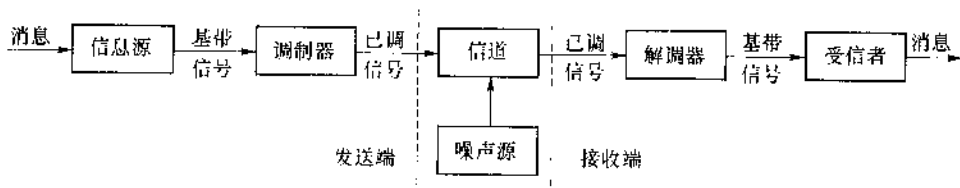


图 1-7 模拟通信系统模型

其中:

- 基带信号——由消息转化而来的原始模拟信号,一般含有直流和低频成分,不宜直接传输;
- 已调信号——由基带信号转化来的、频域特性适合信道传输的信号,又称为频带信号。

对模拟通信系统进行研究的主要内容就是研究不同信道条件下不同的调制解调方法。

(2) 数字通信系统:数字通信系统在信道中传输的是数字信号,模型如图 1-8 所示。

其中: