

通信原理课程建设教材系列

基本通信原理

JIBEN TONGXIN YUANLI

李宗豪 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

基本通信原理

李宗豪 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍信息传输的基本技术。内容包括模拟通信系统和数字通信系统的基本概念;模拟调制传输技术;模拟信号的波形编码;数字基带和数字调制传输技术;扩频通信的基本概念;信道编码的基本原理。为方便读者的自学,本书还对信号与系统有关的基本知识作了较为深入的介绍,同时也介绍了随机信号的一些特点。

本书的一个特点是插图丰富,许多图形都是计算机仿真的结果,这有助于读者对一些信号处理过程的理解;另一特点是提供许多可用的 MATLAB 文件,以此作为学习的辅助工具,方便读者对复杂问题的分析,有助于对概念的理解和深化。

本书可以作为非通信专业的本科生、通信专业夜大学生或大专学生教材和教学参考书,也可作为其他通信工程人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

基本通信原理/李宗豪编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-0851-1

I. 基... II. 李... 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(2005)第 091946 号

书 名:基本通信原理

编 著:李宗豪

责任编辑:王晓丹

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:26.75

字 数:582 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0851-1/TN·345

定 价:38.00 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

人类社会正在步入信息时代。很难想象今天的社会突然没有了通信将会是什么样子。现代国家的繁荣和持续发展越来越依赖于创新和信息的传播。电信服务为各种社会经济活动的信息交流提供了可靠快捷的手段,成为各行业进一步发展的基础。通信产业已成为现代国家的领头产业,并且产业的规模越来越大。作为新兴的行业,它在国内外都是增长速度最快的一个行业。近10年来,它保持两倍于GDP的平均增长速度,而且在未来相当长的时间内还将继续保持高于GDP的增长速度。在贡献于经济增长的同时,电信业还直接或间接地促进社会就业的增加,通信业已成为近10年来最热门的职业之一。

各种因素使得越来越多的人关注通信的发展,他们当中有电信公司的运营商、工程师,有从事各种技术工作的不同层次的技术人员。他们都迫切要求更新现有的知识,调整自己的知识结构,以迎接信息时代所面临的各种挑战。在这些人群中有的通信专业或与信息科学有关的本科毕业生、研究生,他们一般都有良好的专业基础,知识更新对他们来说或许不是什么问题。对没有这样知识背景的人员来说情况又不一样了。他们可能有很好的数学物理知识基础,但缺乏专业的基础训练;也有一些是有一定的专业知识,但数理知识尚有欠缺。他们当中能有机会重返学校集中时间学习的人毕竟是少数,更多的人只能利用业余时间自学,或参加各种培训班、夜大班的学习。他们都希望在最短的时间内掌握有关通信的一些基本概念,需要一本通俗易懂、简明扼要、方便自学的读本。

目前,市场上通信原理的教科书很多,有国内各通信院校编写的,也有从国外引进的中译本,但大多适合本科生或研究生。作者近几年曾给一般院校学习“通信原理”课程的学生,包括夜大和大专的学生授课,发现适合这些读者的书却不多,选择余地太小。作者编写本书,正是希望为他们提供更多的选择。

针对上述读者的实际需要,作者在编写教材的过程中尤其侧重以通俗易懂、简明清晰的方式将通常被认为是及其深奥的、有大量数学推导的通信原理进行讲解,形成鲜明的特点。

本书的第一个特点是插图丰富,且绘制准确,许多图形都是计算机计算的结果。在描述复杂的信号处理过程中,数学语言是最精确也是最基本的,但也比较抽象,若用图形表

示就直观得多。用图形语言来描述一个对象,不能仅仅看作是数学的语言的简单补充,有时图形语言表示相对于数学语言会更简单、直接,更容易看到问题的本质,印象也会更加深刻,理解得也更加透彻。

本书第二个特点是提供一些 MATLAB 文件,全书共有 20 多个,以便配合阅读学习和作练习之用。这些程序都是作者在备课过程中编写使用的。读者可以利用它们作练习,也可以作为阅读的辅助工具:修改其中的参数,验证自己的想法,加深对问题的理解。这将会激发读者的学习兴趣和主动性。

MATLAB 是一套功能强大的工程计算软件,是一种交互式、面向对象的程序设计语言。它的指令表达式与数学、工程上习惯采用的形式很接近,用它来计算解题比 C 语言、FORTRAN 语言要简单得多(参考附录 5)。MATLAB 的另一个特点就是它的数据可视化的图形功能。它可以很方便地把计算结果图形化:把所得数据画成曲线,或把信号处理过程的函数变换表示为波形图形的变换,使过程变得直观。现在 MATLAB 已成为许多高等院校各层次学生必须掌握的工具。作者建议本书读者无论在校学习,还是在自学的过程中,都应积极主动学习和使用这一工具,“不开机不看书”。

全书共分 10 章。第 1 章绪论,介绍有关通信的基本概念。第 2 章信号与系统复习,不熟悉这部分内容的读者应当仔细阅读这一章。第 3 章随机信号分析,介绍随机信号的特点;第 4 章模拟幅度调制系统。第 5 章模拟角度调制。这两章属于模拟通信系统的内容,虽然它最终要被数字通信所取代,但目前还在使用。第 6 章模拟信号的波形编码,介绍模/数转换原理。第 7 章数字信号的基带传输。第 8 章数字载波调制传输。这两章属于数字通信系统的内容。第 9 章扩频通信,主要介绍直接序列扩频通信原理。它是近 10 年才引入到民用通信,是第三代移动通信系统无线传输的主流技术。第 10 章信道编码,介绍差错控制的一些基本概念。每章后附有习题,以巩固、深化所学的知识。其中有的是需用计算机来完成的,并以 [MATLAB] 标志。利用计算机做一些比较复杂的问题,这样有利于对概念更深的理解和掌握。

鉴于作者学识有限,难免有不妥之处,欢迎读者指正。

李宗豪

2005 年 7 月于北京邮电大学

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 通信系统和通信网的基本概念	1
1.2 模拟通信系统和数字通信系统	4
1.2.1 模拟通信系统	4
1.2.2 数字通信系统	4
1.2.3 数字通信和模拟通信的比较	5
1.3 信道和噪声	7
1.3.1 信道	7
1.3.2 噪声	9
1.4 通信系统的质量指标	10
1.4.1 模拟通信系统的质量指标	10
1.4.2 数字通信系统的质量指标	10
1.5 通信的发展	12

第 2 章 信号与系统复习

2.1 序	16
2.2 确定信号分析	17
2.2.1 正弦信号和单位冲激信号	17
2.2.2 傅氏级数	21
2.2.3 傅氏变换	25
2.2.4 傅氏变换的数值计算	30
2.3 信号的能量谱与功率谱	38
2.3.1 信号的能量谱	38
2.3.2 信号的功率谱	39
2.3.3 信号带宽	41

2.4 信号通过线性时不变系统	44
2.4.1 系统传输特性的时域描述	44
2.4.2 系统传输特性的频域描述	47
2.4.3 系统的无失真传输特性和滤波器特性	48
2.5 波形的相关	53
2.5.1 波形的互相关	53
2.5.2 波形的自相关	55
习题	57

第3章 随机信号分析

3.1 随机过程的基本概念	61
3.1.1 什么是随机过程	61
3.1.2 随机过程的数字特征	62
3.1.3 平稳随机过程及各态历经性	64
3.1.4 随机过程的功率谱	66
3.1.5 随机过程的维纳-辛钦定理	68
3.1.6 平稳随机过程与正弦信号相乘	68
3.2 高斯随机过程	69
3.3 白噪声过程	72
3.4 随机过程通过线性系统	73
3.4.1 输入/输出关系	73
3.4.2 等效噪声带宽	76
3.5 窄带随机过程	77
3.5.1 窄带高斯过程	77
3.5.2 正弦波加窄带高斯过程	80
习题	81

第4章 模拟幅度调制系统

4.1 序	84
4.2 常规调幅	86
4.2.1 常规调幅信号的表达式	86
4.2.2 常规调幅信号的频谱	88
4.2.3 常规调幅信号的功率	91
4.2.4 常规调幅信号的解调	92
4.3 抑制载波双边带调幅	93

4.3.1	抑制载波双边带调幅信号	93
4.3.2	抑制载波双边带调幅信号的解调	94
4.4	单边带调幅	96
4.4.1	滤波法产生单边带调幅信号	97
4.4.2	相移法产生单边带调幅信号	100
4.4.3	单边带调幅信号解调	101
4.5	残留边带调幅	102
4.5.1	残留边带信号的产生	103
4.5.2	残留边带信号解调	104
4.6	线性调制系统的抗噪声性能	106
4.6.1	线性调制系统抗噪声性能分析模型	106
4.6.2	DSB 信号相干解调的性能	108
4.6.3	SSB 信号相干解调的性能	109
4.6.4	AM 信号包络检波的性能	111
4.6.5	线性调制系统的比较	114
	习题	115

第 5 章 模拟角度调制

5.1	角度调制信号	119
5.1.1	调相信号和调频信号	119
5.1.2	调频和调相的关系	120
5.1.3	单音角度调制信号	120
5.1.4	窄带角度调制信号	122
5.2	角度调制的频谱特性	122
5.2.1	贝塞尔函数	122
5.2.2	单音调制信号的调频信号	124
5.2.3	更多正弦信号调制的调频信号频谱	130
5.3	调相信号的频谱	131
5.4	角度调制信号的产生与解调	133
5.4.1	调频信号的产生	133
5.4.2	调频信号的解调	135
5.5	调频信号的抗噪声性能	137
5.5.1	调频信号解调系统	138
5.5.2	大信噪比情况下调频信号的解调	139
5.5.3	小信噪比情况下鉴频器的输出	142

5.5.4 调频信号的门限	143
5.6 加重去加重技术	145
5.6.1 预加重和去加重网络	146
5.6.2 去加重网络对信道噪声的抑制	147
5.6.3 应用例子	147
5.7 FM 和 AM 的比较	149
5.8 频分复用技术	151
5.8.1 基本原理	151
5.8.2 FDM 应用例子	152
习题	156

第 6 章 模拟信号的波形编码

6.1 脉冲编码调制的原理	160
6.2 抽样	161
6.2.1 自然抽样	161
6.2.2 抽样定理	163
6.2.3 抽样保持	167
6.3 量化	169
6.3.1 量化器和量化噪声	169
6.3.2 均匀量化	170
6.3.3 非均匀量化	173
6.4 编码和译码	177
6.4.1 编码的码型	178
6.4.2 编码	179
6.4.3 译码	182
6.5 其他波形编码	184
6.5.1 增量调制(Δ 调制)	184
6.5.2 自适应增量调制 ADM	189
6.5.3 差值(差分)脉冲编码调制 DPCM	190
6.6 时分复用	193
6.6.1 时分复用原理	193
6.6.2 TDM 系统的应用例子	195
习题	198

第7章 数字信号的基带传输

7.1 数字基带信号及其频谱	201
7.1.1 数字信号的波形表示	201
7.1.2 数字基带信号的功率谱	202
7.1.3 一些常用的线路码	203
7.1.4 码型的选择	212
7.2 数字基带信号在带限系统的传输	214
7.2.1 数字基带系统中的码间干扰	214
7.2.2 无码间干扰传输系统的传输特性	216
7.2.3 升余弦低通滤波器特性	219
7.3 部分响应传输系统	222
7.3.1 第一类部分响应传输系统(双二进制系统)	222
7.3.2 第四类部分响应传输系统(改进的双二进制系统)	227
7.3.3 部分响应系统的一般形式	229
7.4 眼图	231
7.5 信道均衡原理	232
7.5.1 频域均衡和时域均衡	232
7.5.2 横向均衡器的结构和工作原理	235
7.5.3 均衡效果的评价	239
7.5.4 判决反馈均衡器	241
7.5.5 均衡器系数的调整 and 自适应均衡器	243
7.6 高斯白噪声对数字基带传输系统性能的影响	245
7.6.1 数字基带信号的接收	245
7.6.2 PAM 信号的错误概率	246
7.7 数字基带信号的最佳接收	250
7.7.1 匹配滤波器	250
7.7.2 相关接收	253
7.7.3 匹配滤波器接收的错误概率	255
习题	257

第8章 数字载波调制传输

8.1 二进制数字调制	262
8.1.1 二进制幅度键控	262
8.1.2 二进制相位调制	265

8.1.3	差分移相键控	269
8.1.4	二进制移频键控(2FSK)	272
8.1.5	数字调制信号的限带	276
8.2	噪声对二进制数字调制系统性能的影响	278
8.2.1	OOK 系统的抗噪声性能	279
8.2.2	2PSK 系统的抗噪声性能	282
8.2.3	2FSK 系统的抗噪声性能	283
8.2.4	调制解调性能的比较	285
8.2.5	二进制数字调制信号的最佳接收	287
8.3	数字多进制调制	294
8.3.1	多进制幅度键控	294
8.3.2	4 相移相键控	296
8.3.3	差分 4 相移相键控	299
8.3.4	QPSK 信号的限带和其他形式的 QPSK	301
8.3.5	MPSK	304
8.3.6	正交幅度调制	307
8.3.7	M 进制频移键控 MFSK	312
8.4	M 进制数字信号的误符号率及性能比较	314
8.4.1	MASK 数字信号的误符号率	314
8.4.2	MPSK 数字信号的误符号率	315
8.4.3	MQAM 数字信号的误符号率	316
8.4.4	MFSK 数字信号的误符号率	317
8.4.5	各种多进制调制方式的比较	318
8.5	恒包络调制 MSK 和 GMSK	319
8.5.1	最小频移键控(MSK)	319
8.5.2	高斯最小频移键控	326
	习题	330

第 9 章 扩频通信

9.1	伪噪声序列	334
9.1.1	m 序列的产生	334
9.1.2	m 序列的一些性质	338
9.1.3	m 序列的功率谱	341
9.2	直接序列扩频通信系统的原理	341
9.2.1	扩频和解扩	342

9.2.2	直扩系统的抗干扰能力	344
9.2.3	DS/2PSK 信号的错误概率和干扰容限	345
9.3	直接扩频通信系统的应用	347
9.3.1	信号的低功率发射和信号的隐蔽传输	347
9.3.2	信道的码分复用	348
9.3.3	抗多径干扰和 RAKE 接收机	351
9.3.4	与窄带通信系统的共存	355
9.3.5	测量	355
9.4	跳频扩频通信系统(FHSS)	355
9.4.1	基本概念	355
9.4.2	慢跳频和快跳频的例子	357
9.4.3	跳频系统的抗干扰性能	358
9.4.4	跳频系统的应用	359
	习题	360

第 10 章 信道编码

10.1	基本概念	363
10.1.1	信道的差错统计特性	363
10.1.2	信道编码的基本原理	364
10.1.3	差错控制方式	366
10.2	线性分组码	367
10.2.1	基本概念	367
10.2.2	奇偶校验码	368
10.2.3	(n, k) 分组码	369
10.2.4	汉明码	374
10.2.5	线性分组码的编译码电路	376
10.3	循环码	376
10.3.1	基本概念	377
10.3.2	循环码的生成多项式	379
10.3.3	循环码的编码	380
10.3.4	循环码的译码	382
10.4	卷积码	385
10.4.1	卷积码编码器	385
10.4.2	卷积码编码器的描述	387
10.4.3	维特比译码的基本原理	389

10.4.4 卷积码的自由距离	393
10.5 交织编码	393
习题	396

附录

A1 误差函数	398
A1.1 Q 、erf 和 erfc 函数	398
A1.2 Q 函数曲线	398
A1.3 Q 函数列表	399
A2 bessel 函数表	400
A3 数学公式	401
A3.1 三角公式	401
A3.2 积分公式	402
A3.3 函数定义	402
A4 矩阵的基本运算	403
A4.1 矩阵	403
A4.2 矩阵基本运算	403
A5 MATLAB 初步	406
参考文献	413

第1章 绪论

1.1 通信系统和通信网的基本概念

现代的日常生活中,当人们提到通信时,自然会想到传递消息最常用、最方便和最快捷的电话、E-mail等通信方式。在这些通信方式中,是用电信号来传递消息,因而称之为电信,本书所提到的通信就是指电信。这些产生、传输电信号和在接受端把它恢复为原来的消息的设备的总体,就构成了一个通信系统。

就实现传递消息这一任务而言,通信系统可以图1.1.1来概括。图中的输入消息转换器就是把要传递的消息转换为消息信号,或简称为信号。在电信系统中,信号就是随时间变化的电压或电流。例如,电话机的话筒就把话音转换为随时间变化的电压。发送设备的作用是把要传输的消息信号经过某些变换使之适合在给定的信道上传输。这里的信道是指连接两端通信设备传输信号的媒介(媒质),如双绞线对、光纤、无线电波等。接收设备的功能是在信道输出端提取所要的信号,最后输出转换器把消息信号恢复为原来的消息。

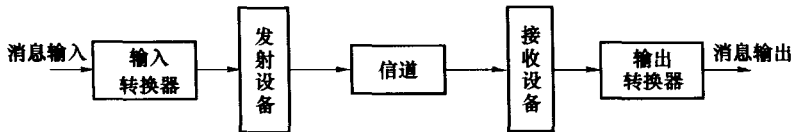


图 1.1.1 通信系统的模型

图 1.1.1 的通信系统可以实现从一点到另一点消息的传递,若要在反方向传递消息,则须增加一个反向的传输系统。这样,在通信的每一端都有消息转换器和收发设备,它们合在一起就构成终端设备,而信道则是双向的信道。为了实现多点之间的信息互通,可以用多条信道直接把它们成对连接起来而构成一个通信网。但这样做往往是很不经济的,因为按这种方式连接 n 个点,每一点需要准备 $n-1$ 个双向信道,当两点在通信时只需要一个这样的信道,而它们和其他点连接的信道被闲置不用,这是很大的浪费,特别是 n 比较大的情况。为了高效率利用信道资源,多点之间的连接一般采用转接互连的结构,如图 1.1.2 就是一个例子,任何两点之间的通信,都是经过具有开关群的交换机的转接来完成

的。通信网的硬件设施就是由终端设备、传输设备和转接交换设备构成的。

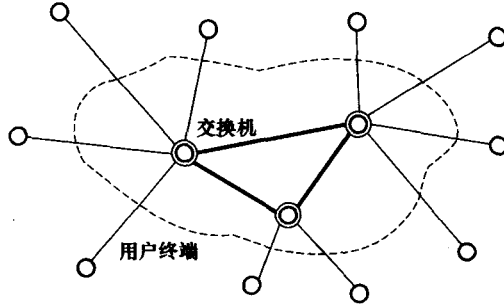


图 1.1.2 通信网的例子

电话网是发展比较早的通信网,它为社会大众提供传输语音的服务。当两个用户需要通话时,电话网就为它们分配一对传输方向相反的信道(双向信道),直到通话结束才释放此信道。这种转接的方式通常称作电路交换。由于通话的双方在交谈时,一般都是一方在说的时候另一方在听,这样他们所占用的信道在通话期间有一半以上的时间是空闲的。这种空闲意味着信道资源的浪费。如果说为了保证通话的实时性这点浪费是值得的,那么对实时性要求不那么高的数据传输,用这种方式使用网络资源,纯粹就是浪费。一种高信道利用率的数据转接方式是分组交换。它是把要传输的数据划分为长度有限的分组(packet),并在每个分组加入发送端、接收端的地址和分组的序号。这样的分组可以在网内的多条通路上传送,具体的路由可以根据某一时刻网内路由闲忙情况决定。在接收端根据分组序号便可以按顺序重新组合恢复原来的数据。所有数字化的信息都可以采用分组的方式进行传输和交换,现在因特网所用的交换方式就是分组交换。

随着社会的进步,人们对通信的需求不再限于电话,特别是近 10 年来,各种数据业务、视频业务都在迅速增加。为了提供各种通信业务,传统的方法是建设不同的业务网络。结果出现许多单一业务的网络,如电话网、计算机网、有线电视网等等。这样的建网方式投资大,资源不能共享,电路利用率低,也不便于管理,提供业务的成本也比较高,很难适应不断出现的新的业务要求。显然,从降低成本考虑,利用一个网络为社会公众提供多业务是比较理想的。人们一直在为实现这一目标而努力,从窄带综合业务数字网(N-ISDN)到宽带综合业务数字网(B-ISDN),发展到基于 IP(Internet Protocol)技术的因特网。现在的因特网不仅可以传输数据,还可以传输语音(如 IP 电话)和图像(静止的和活动的)。尽管它提供的一些业务在质量上,在信息传输的安全性、可靠性以及网络管理方面还不能和传统的通信网相比。但随着技术的发展,一个能够提供端到端连接,服务质量有保证的新一代宽带 IP 网正在出现。IP 技术的出现使得多网融合成为可能,它最终将使现有的各种业务网络演进形成一个以分组网络技术为核心的网络,从而提高运营商为用户提供多种服务的能力,并降低网络运营成本。

现代通信网是一个结构复杂的庞大的数字化网络,在通信功能上的描述是采用网络分层的概念,这就是开放系统互连(OSI,Open System Interconnection)的七层模型。这一模型把通信过程分解为7个顺序工作的功能层,如图 1.1.3 所示,每一层在通信过程中都完成特定的功能。例如处于最低层(第 1 层)的物理层,它主要的功能就是保证把要传送的信息比特逐一从链路的一端送到另一端;第 2 层链路层要保证数据帧在链路上的可靠传输;第 3 层网络层有寻址的功能,能够为要传送的数据分组选择路由等等。这 3 层通常统称作传送层部分,主要提供网络服务,在收发系统之间透明传输数据;而其他高层的任务则主要是对这些数据进行处理,满足终端用户的需要。

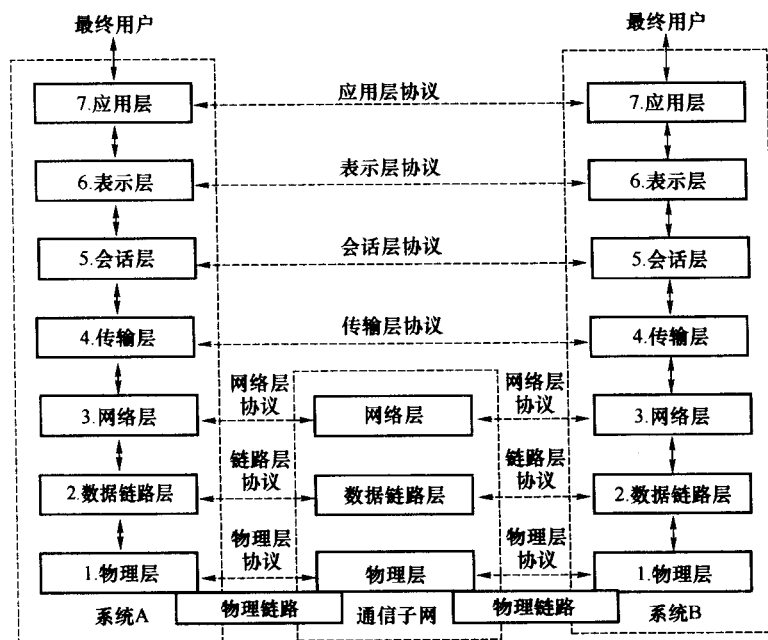


图 1.1.3 系统 A、B 经过子网的通信

在所有的网络中,层间接口都有明确的定义,它定义了下层提供给上层的服务。系统 A 的第 n 层根据一系列规则和约定可以和另一系统 B 中的第 n 层进行对话,这些规则和约定就相应称为第 n 层协议。所谓开放系统互连就是指符合这个参考模型和相应标准的系统,它们之间可以相互连接进行通信。由于各层独立,能很好适应技术的发展和提供新的业务,网络也容易维护。

物理层是 OSI 模型中的最下层,它是有关物理设备(如计算机系统、终端系统等)和物理媒体(如通信电缆、光纤、无线信道等)互连的描述和规定。全面描述各层的作用不是本书的任务,它们已分散在通信专业各有关的课程中,本书主要讨论物理层中有关信号的传输技术。

1.2 模拟通信系统和数字通信系统

在实际的通信中,由于通信业务的多样性,消息的来源也是多种多样的,但基本可以分为两大类:连续的和离散的。连续的消息如话音,声波振动的幅度是随时间连续变化的。若把它转换为随时间连续变化的电压(电流)信号,信号幅度是时间连续函数。这样的信号称作模拟信号;而离散消息,如打字机产生的消息,输出的消息符号(如英文 26 个字母)个数是有限的。若信号的参数与离散消息对应而离散取值,这就是数字信号。由于信号的性质不同,通信系统对信号的处理方式和设备就有所不同。根据通信系统所传输的信号的性质,通信系统也相应分为模拟通信系统和数字通信系统。

1.2.1 模拟通信系统

在模拟通信系统中,发送转换器把原始的模拟消息变换为原始的模拟信号。这种信号的频谱集中在零频的附近、频率比较低的一个频带内。这种信号也称作基带信号。它经过发射设备放大后便可以直接送上信道传输。在接收端,接收设备对经过信道传输而受到损伤的基带信号进行处理,经过转换器恢复为原始消息。这样的通信系统称作模拟基带传输系统。

在实际的系统中,发射设备常常还包含了对基带信号作进一步的变换,把它的频谱变换到一个高频段上。完成这种变换的是发送设备中的调制器。之所以采用调制技术,有几个重要的原因:①使电波有效辐射:调制在无线通信显得特别重要,因为只有天线的长度大于无线电波的波长的 $1/10$ 时,电磁波才能有效地辐射,例如 1 MHz 对应波长 300 m,要求天线至少长 30 m;②可以实现传输媒体上信道的分配和有效利用信道资源;③可以减小信道噪声和干扰的影响,改善通信系统的性能。调制器输出的信号的频谱位于高频段的某一带宽内,这是一个带通信号,称作已调信号。在接收端则由接收设备中的解调器,把基带信号从已调信号中恢复出来,再经过输出转换器的反变换得到原始的消息。这样的通信系统就称作模拟调制传输系统。

另外要说明的是,实际的模拟通信系统的设备构成并不是仅仅有调制解调器或放大器。事实上,它还包括其他许多的设备,即信号还包括其他的变换,如各种滤波器,以及使用无线信道所需的天线等。

1.2.2 数字通信系统

在数字通信系统中,所传输的信号是数字信号。它的特点是信号在调制之前,一般要