

通信原理

简明教程

南利平 编著

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

通信原理简明教程

南利平 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书以现代通信系统为背景，全面地介绍通信系统的一般模型和通信技术的基本原理，内容包括模拟通信和数字通信，侧重于数字通信。

本书内容简练，理论联系实际，对基本原理的分析深入浅出，配有大量的典型例题和习题，便于自学。

本书可作为通信工程专业和电子类相关专业的本科生教材，也可作为双学位和专升本的教材，还可作为相关领域的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理简明教程/南利平编著. —北京：清华大学出版社，1999
ISBN 7-302-03726-4

I. 通… II. 南… III. 通信理论-教材 IV. TN911-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 44804 号

出版者：清华大学出版社（北京清华大学学研楼，邮编 100084）

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者：北京市清华园胶印厂

发行者：新华书店总店北京发行所

开 本：787×1092 1/16 印张：19.75 字数：469 千字

版 次：2000 年 2 月第 1 版 2000 年 4 月第 2 次印刷

书 号：ISBN 7-302-03726-4/TN·104

印 数：3001~6000

定 价：21.00 元

前 言

我们正处在信息技术蓬勃发展的阶段。以微电子、通信和计算机为代表的信息产业的发展引起了社会经济乃至人们生活方式的深刻变化。

现代通信技术的发展日新月异，而且正在迅速地向各个领域渗透。特别是通信技术与计算机技术的结合，正在以前所未有的力度促进通信网、计算机网和综合业务网的发展。现在有越来越多的读者期望了解和掌握现代通信的原理和技术，以面对信息传输无处不在的环境。

知识的膨胀和更新，给学习者带来的压力是巨大的。如何花费较少的时间获得较多的知识，是一个值得探讨的问题。在任何一个层次的学习，都应以学习者为主体。使用任何一种学习方式，都应以自学为主。为学习者提供一本值得读和读得懂的教材，是一件有意义的工作。一本合适的教材，不仅要有明确而具体的目标，还要立足于读者的基础和要求，按照科学而合理的认知规律，引导读者循序渐进地学习新的知识，掌握相应的方法和技巧。

笔者在从事了多年的教学工作后整理编写了这本简明教材，力求内容取材少而精，力求表达方式简洁明了，力求学习方法适于自学，希望能对读者进行高效率的学习有所帮助。限于水平，只能说做了一种努力的尝试。

全书共分为8章。第1章绪论初步介绍通信和通信系统的基本概念，提出本书的使用方法和建议。第2章预备知识对本书所涉及到的部分基础知识作了简要说明，对于未学过“信号与系统”和“随机过程”这两门课程的读者，可通过该章的内容了解有关的概念和结论。第3章和第4章为模拟通信部分，包括模拟调制的原理及方法，抗噪声性能的分析模型及方法，模拟通信系统的应用举例。第5章至第8章为数字通信部分。第5章的内容为模拟信号的波形编码，以广泛应用的脉冲编码调制为主，分析从模拟信号转化为数字信号的过程。在波形编码的基础上介绍时分复用的原理及数字电话的应用体制。第6章和第7章讨论数字信号的基带和调制传输。基带传输包括传输方式，基带系统传输错误率分析和计算。调制传输包括各种调制方法，调制系统传输差错率，多进制调制和改进型数字调制方法。第8章的内容为差错控制编码，介绍差错控制的基本概念，线性分组码的编译码方法及纠错性能，最后例举了数字通信系统的典型应用。

感谢清华大学朱雪龙教授和北京邮电大学乐光新教授对本书的审阅。对本书所列文献作者，在此一并致谢。

有不当之处，欢迎读者批评指正。

作 者
1999年11月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 通信和通信系统的一般概念	1
1.2 模拟通信与数字通信	2
1.3 通信发展简史	4
1.4 通信系统的质量指标	4
1.4.1 模拟通信系统的质量指标	5
1.4.2 数字通信系统的质量指标	5
1.5 本书的结构和使用方法	6
第 2 章 预备知识	8
2.1 信号和系统的分类	8
2.1.1 信号的分类	8
2.1.2 系统的分类	9
2.2 确定信号的分析	9
2.2.1 周期信号	9
2.2.2 信号的傅里叶变换	10
2.2.3 信号的能量谱与功率谱	13
2.2.4 波形的互相关和自相关	15
2.3 随机信号的分析	20
2.3.1 概率及随机变量	20
2.3.2 随机过程和它的统计特性	24
2.3.3 平稳随机过程	27
2.3.4 高斯随机过程	31
2.3.5 平稳随机过程通过线性系统	33
2.3.6 窄带随机过程	36
2.4 信道与噪声	42
2.4.1 信道的定义和模型	42
2.4.2 高斯白噪声	43
2.5 信息及其度量	44
2.5.1 信息量	45
2.5.2 平均信息量	46
习题	47
第 3 章 模拟线性调制	49
3.1 双边带调幅	49
3.1.1 常规调幅 (AM)	49

3.1.2	抑制载波双边带调幅 (DSB-SC)	52
3.1.3	调制与解调	53
3.2	单边带调制 (SSB)	57
3.2.1	用滤波法形成单边带信号	57
3.2.2	用相移法形成单边带信号	60
3.2.3	单边带信号的解调	65
3.3	残留边带调制 (VSB)	67
3.3.1	残留边带信号的产生	67
3.3.2	残留边带信号的解调	68
3.4	线性调制和解调的一般模型	70
3.4.1	线性调制信号产生的一般模型	70
3.4.2	线性调制信号解调的一般模型	71
3.5	线性调制系统的抗噪声性能	73
3.5.1	通信系统抗噪声性能的分析模型	73
3.5.2	线性调制相干解调的抗噪声性能	75
3.5.3	常规调幅包络检波的抗噪声性能	78
	习题	83
第4章	模拟角调制	88
4.1	角调制的基本概念	88
4.2	窄带角调制	90
4.2.1	窄带调频	91
4.2.2	窄带调相	93
4.3	宽带调频	93
4.3.1	单频信号的宽带调频	93
4.3.2	双频及多频信号调频	99
4.3.3	周期信号调频	100
4.3.4	任意限带信号调制时的频带宽度	101
4.4	宽带调相	101
4.5	调频信号的产生与解调	102
4.5.1	调频信号的产生	102
4.5.2	调频信号的解调	105
4.6	调频系统的抗噪声性能	108
4.6.1	非相干解调的抗噪声性能	108
4.6.2	调频系统中的门限效应	114
4.6.3	相干解调的抗噪声性能	116
4.7	采用预加重和去加重改善信噪比	118
4.8	频分复用 (FDM)	120
4.8.1	频分复用原理	120

4.8.2	多级调制	121
4.8.3	复合调制	122
4.9	模拟通信系统的应用举例	122
4.9.1	载波电话系统	122
4.9.2	调幅广播	125
4.9.3	调频广播	125
4.9.4	广播电视	126
4.9.5	卫星直播电视	128
4.9.6	通信卫星的频分多址方式	128
4.9.7	模拟移动电话	130
	习题	130
第 5 章	模拟信号的波形编码	134
5.1	脉冲编码调制 (PCM)	134
5.1.1	脉冲编码调制的基本原理	134
5.1.2	抽样	135
5.1.3	量化	142
5.1.4	均匀量化和线性 PCM 编码	145
5.1.5	非均匀量化	150
5.1.6	对数量化及其折线近似	150
5.1.7	A 律 PCM 编码原理	154
5.2	差分脉码调制 (DPCM)	158
5.3	增量调制 (ΔM)	160
5.3.1	简单增量调制	160
5.3.2	自适应增量调制	163
5.4	时分复用 (TDM)	164
5.4.1	时分复用原理	164
5.4.2	PCM 基群帧结构	166
	习题	168
第 6 章	数字信号的基带传输	171
6.1	数字基带信号的码型	171
6.1.1	数字基带信号的码型设计原则	171
6.1.2	二元码	172
6.1.3	三元码	174
6.1.4	多元码	176
6.2	数字基带信号的功率谱	177
6.3	无码间串扰的传输波形	184
6.3.1	无码间串扰的传输条件	185
6.3.2	无码间串扰的传输波形	187

6.4	部分响应基带传输系统.....	191
6.4.1	第 I 类部分响应波形.....	191
6.4.2	部分响应系统的一般形式.....	194
6.5	数字信号基带传输的差错率.....	197
6.5.1	二元码的误比特率.....	197
6.5.2	多元码的差错率.....	203
6.6	扰码和解扰.....	205
6.6.1	m 序列的产生和性质.....	205
6.6.2	扰码和解扰原理.....	210
6.6.3	m 序列在误码测试中的应用.....	212
6.7	眼图.....	212
6.8	均衡.....	213
6.8.1	时域均衡原理.....	214
6.8.2	均衡器构成.....	217
	习题.....	218
第 7 章	数字信号的调制传输.....	222
7.1	二进制数字调制.....	222
7.1.1	二进制幅度键控 (2ASK).....	222
7.1.2	二进制频移键控 (2FSK).....	224
7.1.3	二进制相移键控 (2PSK 或 BPSK).....	227
7.1.4	二进制差分相移键控 (2DPSK).....	230
7.2	二进制数字调制的抗噪声性能.....	232
7.2.1	ASK 系统的抗噪声性能.....	232
7.2.2	FSK 的抗噪声性能.....	235
7.2.3	2PSK 和 2DPSK 的抗噪声性能.....	238
7.2.4	二进制数字调制系统的性能比较.....	239
7.3	数字信号的最佳接收.....	241
7.3.1	使用匹配滤波器的最佳接收机.....	241
7.3.2	相关接收机.....	246
7.3.3	应用匹配滤波器的最佳接收性能.....	247
7.3.4	最佳非相干接收.....	252
7.3.5	最佳系统性能比较.....	254
7.4	多进制数字调制.....	256
7.4.1	多进制幅度键控 (MASK).....	256
7.4.2	多进制相移键控 (MPSK).....	258
7.4.3	多进制频移键控 (MFSK).....	263
7.4.4	多进制正交幅度调制 (MQAM).....	265
7.5	最小频移键控 (MSK).....	267

习题.....	268
第 8 章 差错控制编码.....	271
8.1 差错控制编码的基本概念.....	271
8.1.1 差错控制方式.....	271
8.1.2 差错控制编码分类.....	273
8.1.3 几种简单的检错码.....	273
8.1.4 检错和纠错的基本原理.....	276
8.2 线性分组码.....	277
8.3 循环码.....	283
8.3.1 循环码的特点及表达.....	283
8.3.2 循环码的编码和译码.....	286
8.4 差错控制编码对系统性能的改善.....	289
8.5 数字通信系统的应用举例.....	290
8.5.1 用于市话网的 PCM 终端设备.....	290
8.5.2 话带调制解调器.....	292
8.5.3 数字微波通信系统.....	292
8.5.4 国际海事卫星地面站数字通信系统.....	293
8.5.5 NICAM 立体声 (丽音).....	294
习题.....	296
参考文献.....	298
附录一 常用三角公式.....	299
附录二 Q函数表和误差函数表.....	300
附录三 第一类贝塞尔函数表.....	303
缩写词表.....	304

第 1 章 绪 论

1.1 通信和通信系统的一般概念

通信的目的是传递消息，例如把地点 *A* 的消息传输到地点 *B*，或者把地点 *A* 和地点 *B* 的消息双向传输。消息的表达形式有语言、文字、图象、数据等。

实现通信的方式很多。随着现代科学技术的发展，目前使用最广泛的方式是电通信方式，即用电信号携带所要传递的消息，然后经过各种电信道进行传输，达到通信的目的。之所以使用电通信方式是因为这种方式能使消息几乎在任意的通信距离上实现迅速而又准确的传递。如今，在自然科学领域涉及“通信”这一术语时，一般指的就是电通信。就广泛的意义上来说，光通信也属于电通信，因为光也是一种电磁波。

电信号由一地向另一地传输需要通过媒质。按媒质的不同通信方式可分为两大类：一类称为有线通信，另一类称为无线通信。有线通信是用导线作为传输媒质的通信方式，这里的导线可以是架空明线、各种电缆、波导以及光纤。例如图 1-1 所示意的是普通的有线

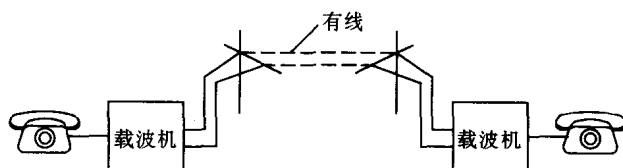


图 1-1 有线载波电话系统示意图

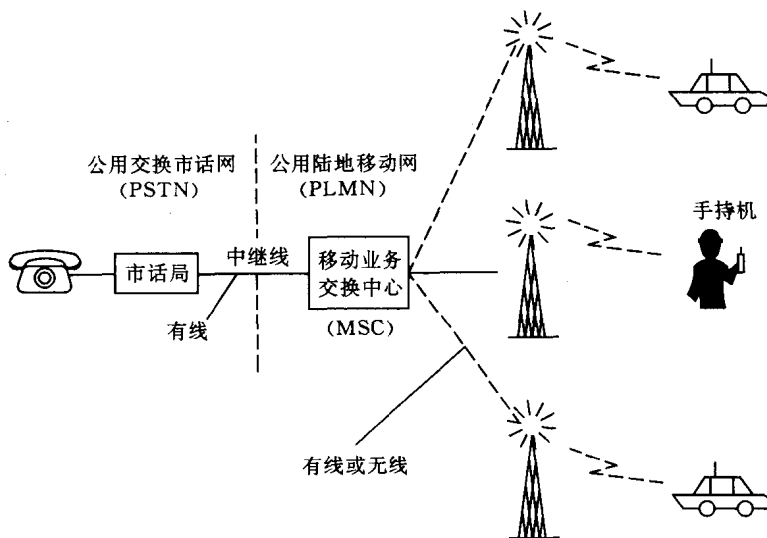


图 1-2 移动电话系统示意图

长途电话系统。图中，电话机完成话音信号与音频电信号之间的变换，载波机完成音频电信号与高频电信号之间的变换。两地的载波机之间用电缆连接。无线通信则不需要架设导线，而是利用无线电波在空间的传播来传递消息。例如图 1-2 所示意的是移动电话系统。图中，各基站与移动交换局用有线或无线相连，各基站与移动电话之间用无线方式进行通信联络。移动电话把电话信号转换成相应的高频电磁波，通过天线发往基站。同理，基站也通过天线将信号发往移动电话，最终实现移动电话与其它电话之间的通信。

无论是有线通信还是无线通信，为了实现消息的传递和交换，都需要一定的技术设备和传输媒质。为完成通信任务所需要的一切技术设备和传输媒质所构成的总体称为通信系统。通信系统的一般模型如图 1-3 所示。图中，信源即原始电信号的来源，它的作用是将原始消息转换为相应的电信号。这样的电信号通常称为消息信号或基带信号。常用的信源有电话机的话筒、摄像机、传真机等。为了传输基带信号，发送设备对基带信号进行各种处理和变换，以使它适合于在信道中传输。这些处理和变换通常包括调制、放大和滤波等。在发送设备和接收设备之间用于传输信号的媒质称为信道。在接收端，接收设备的功能与发送设备的相反，其作用是对接收的信号进行必要的处理和变换，以便恢复出相应的基带信号。受信者的作用是将恢复出来的原始电信号转换成相应的消息，例如电话机的听筒将音频电信号转换成声音，提供给最终的消息接收对象。图中的噪声源，是信道中的噪声以及分散在通信系统其它各处的噪声的集中表示。

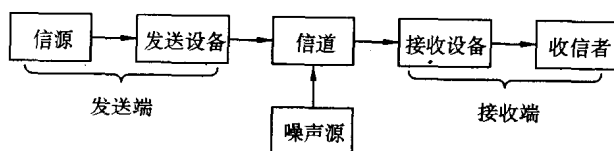


图 1-3 通信系统的一般模型

图 1-3 概括地描述了通信系统的组成，它反映了通信系统的共性，通常我们把它称为通信系统的一般模型。根据所要研究的对象和所关心的问题不同，还要使用不同形式的较具体的通信系统。对通信系统及其基本理论的讨论，就是围绕通信系统的模型而展开的。

1.2 模拟通信与数字通信

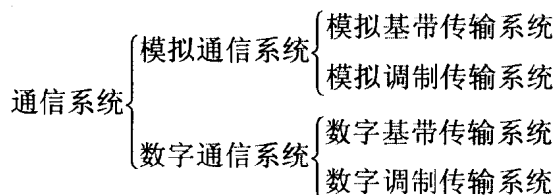
通信系统有待传输的消息形式是多种多样的，它可以是符号、文字、语音或图象等等。为了实现消息的传输和交换，首先需要把消息转换为相应的电信号（以下简称信号）。通常，这些信号是以它的某个参量的变化来表示消息的。按照信号参量的取值方式不同可将信号分为两类，即模拟信号与数字信号。模拟信号的某个参量与消息相对应而连续取值，例如电话机话筒输出的语音信号、电视摄像机输出的电视图象信号等都属于模拟信号。数字信号的参量是离散取值的，例如计算机、电传机输出的信号就是数字信号。

这样，根据通信系统所传输的是模拟信号还是数字信号，可以相应地把通信系统分成模拟通信系统与数字通信系统。也就是说，信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统，信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。当然，以上的分类方法是以信道传输信号

的差异为标准的，而不是根据信源输出的信号来划分的。如果在发送端先把模拟信号变换成数字信号，即进行 A/D 变换，然后就可利用数字方式进行传输，在接收端再进行相反的变换——D/A 变换，以还原出模拟信号。

模拟信号和数字信号通常都要经过调制形成模拟调制信号和数字调制信号，以适应信道的传输特性。在短距离的有线传输场合，也使用基带传输的方式。

综合以上情况，通信系统的分类可表示为



本课程将按以上分类方法对通信系统的组成、基本工作原理及性能进行深入的讨论。

模拟通信系统的模型大体上与图 1-3 差不多，其方框图如图 1-4 所示。对应于图 1-3 中的发送设备，一般来说应包括调制、放大、天线等，但这里只画了一个调制器，目的是为了突出调制的重要性。同样接收设备只画了一个解调器。这样，图 1-4 就是一个最简化的模拟通信系统模型。

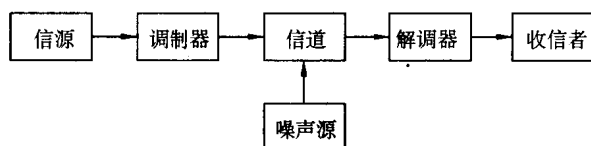


图 1-4 模拟通信系统模型

数字通信系统模型如图 1-5 所示。这里的发送设备包括信源编码、信道编码和调制三个部分。信源编码是对模拟信号进行编码，得到相应的数字信号；而信道编码则是对数字信号进行再次编码，使之具有自动检错或纠错的能力。数字信号对载波进行调制形成数字调制信号。高质量的数字通信系统才有信道编码部分。

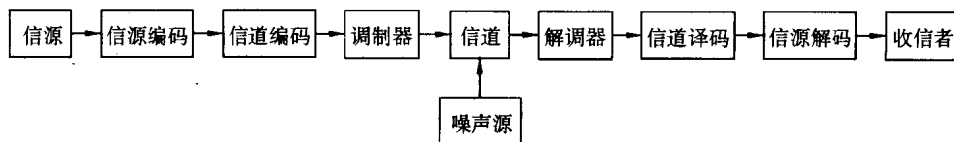


图 1-5 数字通信系统模型

图 1-3 至图 1-5 所表示的均为单向通信系统，但在绝大多数场合，通信的双方互通信息，因而要求双向通信。单向通信称为单工方式，双向通信称为双工方式。

就目前来说，不论是模拟通信还是数字通信，在通信业务中都得到了广泛应用。但是，近 20 年来，数字通信发展十分迅速，在整个通信领域中所占比重日益增长，在大多数通信系统中已替代模拟通信，成为当代通信系统的主流。这是因为与模拟通信相比，数字通信更能适应对通信技术越来越高的要求。数字通信的主要优点如下：

(1) 抗干扰能力强。在远距离传输中,各中继站可以对数字信号波形进行整形再生而消除噪声的积累。此外,还可以采用各种差错控制编码方法进一步改善传输质量。

(2) 便于加密,有利于实现保密通信。

(3) 易于实现集成化,使通信设备的体积小、功耗低。

(4) 数字信号便于处理、存储、交换,便于和计算机联接,也便于用计算机进行管理。

当然,数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的频带而换得的。以电话为例,一路模拟电话通常只占据 4 kHz 带宽,但一路数字电话却要占据 20 kHz~60 kHz 的带宽。随着社会生产力的发展,有待传输的数据量急剧增加,传输可靠性和保密性要求越来越高,所以实际工程中宁可牺牲系统频带而要采用数字通信。至于在频带富裕的场合,比如毫米波通信、光通信等,当然都唯一地选择数字通信。

1.3 通信发展简史

电通信的历史并不长,至今不过只有 160 年的时间。一般把 1838 年有线电报的发明作为开始使用电通信的标志,但那时的通信距离只有 70 km。1876 年发明的有线电话被称为是现代电通信的开端。1878 年世界上的第一个人工交换局只有 21 个用户。无线电报于 1896 年实现,它开创了无线电通信发展的道路。1906 年电子管的发明迅速提高了无线通信及有线通信的水平。

伴随着通信技术的发展,通信科学在 20 世纪 30 年代起获得了突破性的进展,先后形成了脉冲编码原理、信息论、通信统计理论等重要理论体系。而 50 年代以来,由于晶体管和集成电路的问世,不仅模拟通信获得了高速发展,而且促成了具有广阔前景的数字通信方式的形成。在通信种类上,相继出现了脉码通信、微波通信、卫星通信、光纤通信、计算机通信等。计算机和通信技术的密切结合,使通信的对象突破了人与人之间的范畴,实现了人与机器或机器与机器之间的通信。

进入 80 年代以来,除了传统的电话网、电报网以外,各种先进的通信网蓬勃发展,例如移动通信网、综合业务数字网、公用数据网、智能网、宽带交换网等。先进的通信网络使通信不断朝着综合化、宽带化、自动化和智能化的方向发展。为人类提供方便快捷的服务,是通信技术追求的目标。

1.4 通信系统的质量指标

为了衡量通信系统的质量优劣,必须使用通信系统的性能指标,即质量指标。这些指标是对整个系统进行综合评估而规定的。通信系统的性能指标是一个十分复杂的问题,涉及到通信的有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用等等。但是,从研究信息的传输来说,通信的有效性和可靠性是最重要的指标。有效性指的是传输一定的信息量所消耗的信道资源数(带宽或时间),而可靠性指的是接收信息的准确程度。这两项指标体现了对通信系统最基本的要求。

有效性和可靠性这两个要求通常是矛盾的,因此只能根据需要及技术发展水平尽可能

取得适当的统一。例如在一定可靠性指标下，尽量提高消息的传输速度；或者在一定有效性条件下，使消息的传输质量尽可能高。

模拟通信和数字通信对这两个指标要求的具体内容有很大差别，必须分别加以说明。

1.4.1 模拟通信系统的质量指标

1. 有效性

模拟通信系统的有效性用有效传输带宽来度量。同样的消息采用不同的调制方式，则需要不同的频带宽度。频带宽度越窄，则有效性越好。如传输一路模拟电话，单边带信号只需要 4 kHz 带宽，而常规调幅或双边带信号则需要 8 kHz 带宽，因此在一定频带内用单边带信号传输的路数比常规调幅信号多一倍，也就是可以传输更多的消息，显然，单边带系统的有效性比常规调幅系统要好。

2. 可靠性

模拟通信系统的可靠性用接收端最终的输出信噪比来度量。信噪比越大，通信质量越高。如普通电话要求信噪比在 20 dB 以上，电视图象则要求信噪比在 40 dB 以上。信噪比是由信号功率和传输中引入的噪声功率决定的。不同调制方式在同样信道条件下所得到的输出信噪比是不同的。例如调频信号的抗干扰性能比调幅信号好，但调频信号所需的传输带宽却宽于调幅信号。

1.4.2 数字通信系统的质量指标

数字通信系统的有效性用传输速率来衡量，可靠性用差错率来衡量。

1. 传输速率

数字信号由码元组成，码元携带有一定的信息量。定义单位时间传输的码元数为码元速率 R_s ，单位为码元/s，又称波特(baud)，简记为 Bd，所以码元速率也称波特率。定义单位时间传输的信息量为信息速率 R_b ，单位为 bit/s(比特/秒)，所以信息速率又称比特率。一个二进制码元的信息量为 1 bit，一个 M 进制码元的信息量为 $\log_2 M$ bit，所以码元速率 R_s 和信息速率 R_b 之间的关系为

$$R_b = R_s \log_2 M \quad (\text{bit/s}) \quad (1-1)$$

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2 M} \quad (\text{baud}) \quad (1-2)$$

如每秒钟传送 2 400 个码元，则码元速率为 2 400 baud；当采用二进制时，信息速率为 2 400 bit/s；若采用四进制时，信息速率为 4 800 bit/s。

二进制的码元速率和信息速率在数量上相等，有时简称它们为数码率。

数字信号的传输带宽 B 取决于码元速率 R_s ，而码元速率和信息速率 R_b 有着确定的关系。为了比较不同系统的传输效率，定义频带利用率为

$$\eta_b = \frac{R_b}{B} \quad (1-3)$$

其物理意义为单位频带能传输的信息速率，单位为 bit/(s·Hz)。

2. 差错率

定义误比特率 P_b 为

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1-4)$$

定义误码元率 P_s 为

$$P_s = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输的总码元数}} \quad (1-5)$$

有时将误比特率称为误信率，误码元率称为误符号率，也称为误码率。

在二进制码中，有

$$P_b = P_s$$

这时误信率和误码率相同。

差错率越小，通信的可靠性越高。对 P_b 的要求与所传输的信号有关，如传输数字电话信号时，要求 P_b 在 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ ，而传输计算机数据则要求 $P_b < 10^{-9}$ 。当信道不能满足要求时，必须加纠错措施。

1.5 本书的结构和使用方法

以现代通信系统为背景，系统地介绍通信理论的基础，是本书的宗旨。具体地说，建

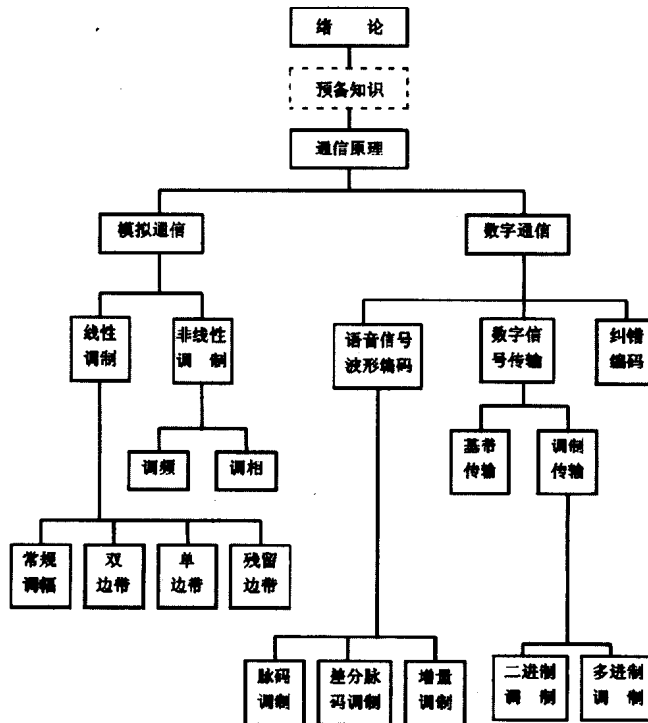


图 1-6 本书各部分内容之间的关系

立通信系统的一般模型，讨论信息传输的基本原理和分析方法是本书的范围。全书的内容可分为模拟通信和数字通信两大部分，其中以数字通信为主。各部分内容之间的关系如图 1-6 所示，其中虚线框内的预备知识是本课程所涉及的基础知识，读者可根据先修课程的情况选择使用。本书的核心内容如图 1-7 所示。

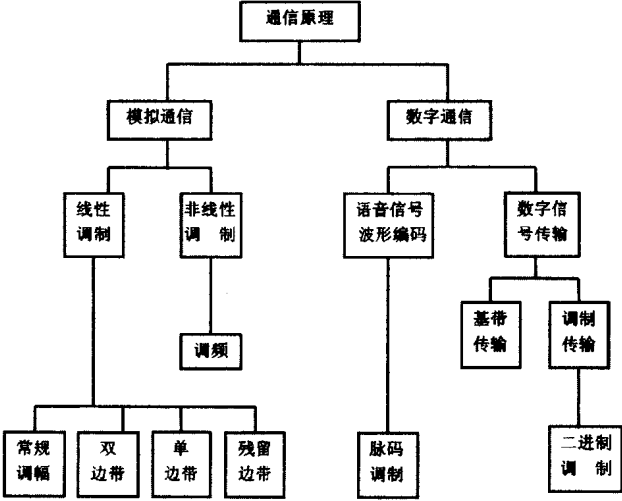


图 1-7 本书的核心内容

第2章 预备知识

通信系统传输的是和原始消息相对应的电信号，因此通信系统的根本问题是研究信号在系统中的传输和变换。

实际的信号通常是随机的，加之通信系统中普遍存在的噪声都是随机的，所以对随机信号的分析是非常重要的。随机信号的分析方法与确定信号的分析方法有很多共同之处，甚至有些时候随机信号也可以当作确定信号来分析，因此确定信号的分析方法是信号分析的基础。

本章将在先修课程的基础上，根据本课程的需要，首先对确定信号的分析作必要的复习巩固，然后对随机信号和噪声的特征表达，以及它们通过线性系统的分析方法进行基本的介绍。在本章的最后，还要简单介绍通信系统所传输的信息及其对信息的度量。

2.1 信号和系统的分类

2.1.1 信号的分类

由语音、图象、数码等形成的电信号，其形式可以是多种多样的，但根据其本身的特点，可作以下分类。

(1) 数字信号与模拟信号

根据电信号参量取值的不同，电信号可分为数字信号和模拟信号，或称为离散信号和连续信号。例如计算机、电传打字机输出的脉冲信号是数字信号，普通电话机输出的电话信号是模拟信号。

(2) 周期信号与非周期信号

周期信号是每隔固定的时间又重现本身的信号，固定的时间称为周期。非周期信号则是无此固定时间长度的信号。通信系统中常用于测试的正(余)弦信号、雷达中的矩形脉冲系列都是周期信号，而语音信号、开关启闭所造成的瞬态则是非周期信号。

(3) 确定信号与随机信号

可以用明确的数学表达式表示的信号称为确定信号。但有些信号在发生之前无法预知信号的取值，即写不出确定的数学表示式，通常只知道它取某一数值的概率，这种信号称为随机信号。

(4) 能量信号与功率信号

能量有限的信号称为能量信号，通常它是一个脉冲式的信号，只存在于有限的时间间隔内。在 $(-T/2, T/2)$ 时间内信号在 1Ω 电阻上消耗的能量是有限的，即

$$E = \int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (2-1)$$

而信号的平均功率为