



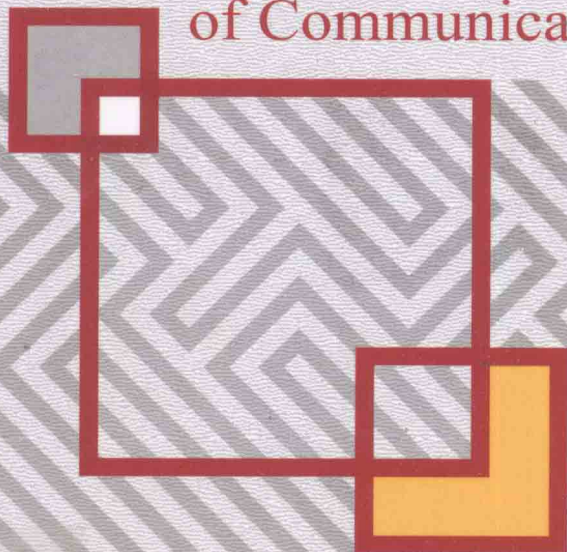
普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

曹丽娜 编著

简明 通信原理

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Concise Principles
of Communications



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

曹丽娜
编著

简明 通信原理

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Concise Principles
of Communications

人民邮电出版社
北 京



精品系列

图书在版编目 (C I P) 数据

简明通信原理 / 曹丽娜编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 5
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-24892-3

I. ①简… II. ①曹… III. ①通信原理—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第037366号

内 容 提 要

本书全面系统地介绍通信系统的基本概念、基本原理和分析方法。全书共分9章,内容包括绪论、信号和频谱、信道和信道容量、模拟调制和频分复用、模拟信号的数字化和时分复用、数字基带传输、数字调制、差错控制编码和同步原理。

本书深浅适度,重点突出,概念清晰,语言通俗,例题丰富,且每章附有小结和参考答案。

本书可作为通信工程、电子信息、计算机通信等专业的普通高等院校本科生、高职学生及自学者的教材,也可作为通信工程技术人员的参考书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

简明通信原理

-
- ◆ 编 著 曹丽娜
责任编辑 滑 玉
执行编辑 董 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.25 2011年5月第1版
字数: 396千字 2011年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24892-3

定价: 32.50元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

当今，我们生活在一个高度信息化的社会，“通信”无所不在，如拨通手机就可随时随地与远方的朋友或家人通话，打开电视就能欣赏到丰富多彩的电视节目，不出家门就可享受网上学习、购物、聊天的乐趣……毫不夸张地说，没有任何一个领域像“通信”这样对人们的生活方式和商务活动、国家的政治事务和军事活动，以及国民的经济和世界的繁荣产生如此重大而深远的影响。信息产业已成为我国乃至全世界的主导产业，越来越多的人才涉足这一具有广阔发展前景的行业，并渴望系统地学习现代通信的原理与技术，以提高升学就业能力。

《简明通信原理》也许正为您所需。愿它能引领您推开这扇门，探索通信的奥秘，了解有关通信的基础知识，掌握通信系统的基本概念、关键技术和工作原理，提高设计和应用通信系统的能力，为您的学习和工作提供一定的帮助。

本书的读者对象是电子信息与通信工程专业的普通高等院校本科生、高职学生、自学成才者及相关行业的专业技术人员。因此，作者在编写过程中注重体会学生的困惑，意在编写一本通俗易懂、便于自学的教材。同时，兼顾到不少同学有考研志愿，所以本教材也绝不是重点院校教材的简化本，其核心内容、设计思想、分析方法等均可与重点院校使用的教材接轨。

本书特色如下。

- 在概念定义上，力求准确、严谨与简练。
- 在阐述语言上，即使您是一个懵懂入行的新手也不用担心，本书将使用通俗易懂的语言、形象比喻的手法诠释晦涩难懂的概念，使其容易理解，便于自学。
- 在写作手法上，充分考虑初学者的困惑，对于难懂的概念，采用设问引思的写法；对于抽象的概念，采用直观图示的写法；对于容易混淆的概念，采用列表对比的写法等。
- 在习题形式上，采用题型多样化（选择填空、连线答题、多项选择、简答题和综合题）、简单题与综合题兼顾的写法，以适用不同层面的读者或授课对象。
- 在内容结构上，突出基础性和实用性；简化理论推导，注重分析思路和设计思想，重点探讨结论或知识点的内涵与应用。
- 丰富的例题，有助于您对每章的重点与难点的理解，也有助于训练您的解题思路、方法与技巧。

- 每章的小结，有助于帮助您梳理和归纳各章的核心知识点和考点，它与参考答案起到了把主教材和辅导教材合二为一的作用，为您节约了成本。

本书内容安排如下。

第1章绪论，犹如一个向导，将引领您对通信的基本概念和术语（消息、信息和信号），通信系统的组成、分类和性能指标，信息的度量，以及通信发展的历程有一个初步的认识。

第2章对通信中常见信号的类型、特性和频谱，以及分析信号的数学工具，噪声与带宽等内容进行复习、归纳和补充，为后续章节的学习提供了所需的基础知识。

第3章介绍了信道的定义与分类、模型与特性、影响与措施，传输媒质的特点，无线电波的传播方式，信道对信号的影响因素，信道容量和香农公式。

第4章介绍了各种模拟调制方式的原理、频谱与带宽、抗噪性能、特点与应用，以及频分复用（FDM）的概念。

第5章介绍了模数转换的过程（抽样、量化和编码），语音信号的波形编码方式（PCM和 ΔM ），以及时分复用（TDM）的概念。

第6章数字基带传输是数字通信的基本传输方式，也是数字调制的基础。本章介绍了数字基带信号的波形、码型及其功率谱，如何消除码间干扰和减小信道噪声的影响，一种估计系统性能的实验手段（眼图）和改善系统性能的两个措施（部分响应和时域均衡）。

第7章数字调制是大多数数字通信和无线通信系统中的关键技术。本章介绍了二进制和多进制数字调制与解调原理，功率谱和带宽；比较了二进制数字调制系统的误码率、频带利用率、对信道的适应能力以及适用场合；并对几种现代调制方式（QAM、MSK、OFDM）进行了简介。

第8章差错控制编码是一种提高信息传输可靠性的重要手段。本章介绍了几种基本的检错或纠错编码（奇偶监督码、线性分组码、循环码）的编、译码原理。

第9章同步是数字通信系统中不可或缺的关键技术。本章介绍了载波同步、码元同步和群同步的作用、原理、实现方法和性能指标。

本书由曹丽娜教授主编，张艳玲副教授参编了部分内容。作者在编写过程中参考了大量的国内外有关通信的教材、参考书和文献资料，在此向其作者或译者表示衷心的感谢和敬意。还要感谢我的学生项刚、戴相龙、薛涛、迟墨源、刘宇、赵连强、李瑞淇等所做的工作。

为配合教学需要，本书还提供配套的教学课件。读者可以到人民邮电出版社教学服务与资源网（www.ptpedu.com.cn）上下载。

由于作者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者于西安·西安电子科技大学

2011年1月

ccllna@sohu.com

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.3 冲激函数和冲激序列	29
1.1 通信的基本概念	1	2.2.4 能量谱密度和功率谱密度	30
1.1.1 通信与电信	1	2.2.5 互相关函数和自相关函数	32
1.1.2 消息、信息与信号	2	2.2.6 相关函数与谱密度	33
1.2 通信系统的模型	4	2.3 随机过程	34
1.2.1 基本模型	4	2.3.1 定义	34
1.2.2 模拟通信系统模型	5	2.3.2 统计特性与数字特征	35
1.2.3 数字通信系统模型	5	2.4 平稳随机过程	36
1.2.4 数字通信的优缺点	6	2.4.1 平稳性	36
1.3 通信系统的分类	7	2.4.2 各态历经性	36
1.4 通信方式	8	2.4.3 自相关函数的性质	37
1.4.1 单工、半双工和全双工通信	8	2.4.4 功率谱密度和维纳-辛钦定理	37
1.4.2 并行传输和串行传输	9	2.5 高斯随机过程	38
1.5 信息的度量	9	2.5.1 定义与特性	38
1.5.1 离散消息的信息量	10	2.5.2 一维高斯(或正态)分布	39
1.5.2 离散信源的平均信息量	11	2.6 随机过程通过线性系统	40
1.5.3 总信息量	11	2.7 窄带随机过程	41
1.6 通信系统的性能指标	12	2.8 通信系统中的噪声	42
1.6.1 模拟通信系统的性能指标	12	2.8.1 白噪声	42
1.6.2 数字通信系统的性能指标	13	2.8.2 带限白噪声	43
1.7 通信发展简史	15	本章小结	45
本章小结	16	思考与练习	47
思考与练习	18	参考答案	48
参考答案	19	第 3 章 信道	50
第 2 章 信号和频谱	21	3.1 信道分类	50
2.1 信号分类	22	3.2 有线信道	51
2.1.1 确知信号和随机信号	22	3.2.1 双绞线	51
2.1.2 周期信号和非周期信号	22	3.2.2 同轴电缆	52
2.1.3 能量信号和功率信号	23	3.2.3 光纤	53
2.2 确知信号	23	3.3 无线信道	53
2.2.1 周期信号的频谱——傅里叶级数	24	3.3.1 无线电波的波段划分	53
2.2.2 非周期信号的频谱——傅里叶变换	25	3.3.2 无线电波的传播方式	55
		3.3.3 无线信道举例	56
		3.4 信道的影响	57

3.4.1 衰减	58	5.1 脉冲编码调制原理	102
3.4.2 失真	58	5.2 采样	103
3.4.3 噪声	58	5.2.1 采样定理	103
3.5 信道模型	58	5.2.2 实际采样	105
3.5.1 调制信道模型	59	5.2.3 脉冲幅度调制	107
3.5.2 编码信道模型	59	5.3 量化	108
3.6 信道容量与香农公式	60	5.3.1 量化原理	108
本章小结	62	5.3.2 均匀量化	109
思考与练习	63	5.3.3 非均匀量化	112
参考答案	64	5.4 编码和译码	116
第4章 模拟调制系统	65	5.4.1 码型的选择	117
4.1 调制简介	65	5.4.2 码位的选择与安排	118
4.1.1 什么是调制?	65	5.4.3 逐次比较型编码器	120
4.1.2 为什么要进行调制?	66	5.4.4 编码举例	121
4.1.3 调制的类型	67	5.4.5 译码原理	122
4.2 幅度调制	67	5.5 PCM信号的比特率和带宽	123
4.2.1 常规调幅	68	5.6 差分脉码调制	124
4.2.2 抑制载波双边带调制	71	5.7 增量调制	125
4.2.3 单边带调制	72	5.7.1 基本原理	125
4.2.4 残留边带调制	73	5.7.2 不过载条件和编码范围	126
4.2.5 相干解调与包络检波	75	5.7.3 量化信噪比	127
4.3 角度调制	77	5.8 时分复用	128
4.3.1 角度调制的基本概念	77	5.8.1 时分复用原理	128
4.3.2 FM信号的频谱与带宽	79	5.8.2 多路数字电话系统的基本概念	129
4.3.3 FM信号的产生与解调	82	5.8.3 PCM基群的帧结构和比特率	130
4.3.4 FM特点与应用	84	本章小结	131
4.4 模拟调制系统的抗噪性能	84	思考与练习	132
4.4.1 分析模型和性能指标	85	参考答案	133
4.4.2 线性调制相干解调的抗噪声性能	86	第6章 数字基带传输	134
4.4.3 AM包络检波的抗噪声性能	89	6.1 数字基带信号的码型	135
4.4.4 FM系统的抗噪声性能	91	6.1.1 基本码型	135
4.5 频分复用	94	6.1.2 线路码型	136
4.5.1 基本原理	94	6.2 数字基带信号的功率谱	140
4.5.2 应用举例	95	6.3 无码间串扰的基带传输特性	142
本章小结	95	6.3.1 基带传输模型和码间串扰	143
思考与练习	98	6.3.2 无码间串扰的条件——Nyquist准则	144
参考答案	99	6.3.3 基带传输特性的设计	146
第5章 模拟信号的数字化	101		

6.4 基带系统的抗噪声性能·····	149	8.2.4 码重和码距·····	196
6.4.1 双极性基带系统的误码率·····	149	8.2.5 最小码距与纠错和检错能力·····	196
6.4.2 单极性基带系统的误码率·····	151	8.2.6 编码效率和编码增益·····	198
6.5 估计系统性能的实验手段—— 眼图·····	152	8.3 奇偶监督码·····	198
6.6 减小码间串扰的措施——均衡·····	153	8.4 (n, k) 线性分组码·····	199
本章小结·····	155	8.4.1 构造思路·····	200
思考与练习·····	156	8.4.2 监督矩阵与生成矩阵·····	202
参考答案·····	157	8.4.3 线性分组码的性质·····	205
第7章 数字带通传输系统 ·····	158	8.4.4 伴随式与译码·····	205
7.1 二进制数字调制原理·····	159	8.4.5 汉明码·····	207
7.1.1 二进制振幅键控·····	159	8.5 循环码·····	210
7.1.2 二进制频移键控·····	161	8.5.1 循环码的基本概念·····	210
7.1.3 二进制相移键控·····	163	8.5.2 循环码的生成多项式·····	212
7.1.4 二进制差分相移键控·····	165	8.5.3 循环码的编码·····	214
7.1.5 二进制数字已调信号的 功率谱·····	168	8.5.4 循环码的译码·····	215
7.2 二进制数字调制系统性能比较·····	171	本章小结·····	215
7.2.1 抗噪性能——误码率·····	171	思考与练习·····	218
7.2.2 有效性——带宽和频带 利用率·····	172	参考答案·····	219
7.2.3 对信道特性变化的敏感性·····	173	第9章 同步原理 ·····	221
7.3 多进制数字调制原理·····	173	9.1 载波同步·····	222
7.3.1 多进制振幅键控·····	174	9.1.1 直接法·····	222
7.3.2 多进制频移键控·····	175	9.1.2 插入导频法·····	225
7.3.3 多进制相移键控·····	176	9.1.3 载波同步系统的性能·····	226
7.4 几种现代调制方式简介·····	180	9.2 位同步·····	227
7.4.1 正交振幅调制·····	181	9.2.1 插入导频法·····	227
7.4.2 最小频移键控·····	184	9.2.2 直接法·····	228
7.4.3 正交频分复用·····	188	9.3 群同步·····	231
本章小结·····	190	9.3.1 起止式同步法·····	231
思考与练习·····	191	9.3.2 连贯式插入法·····	232
参考答案·····	192	9.3.3 间隔式插入法·····	234
第8章 差错控制编码 ·····	193	9.3.4 群同步系统的性能·····	235
8.1 纠错编码的基本原理·····	194	9.3.5 群同步的保护·····	237
8.2 纠错编码的基本概念·····	194	本章小结·····	237
8.2.1 差错类型·····	194	思考与练习·····	237
8.2.2 差错控制方式·····	195	参考答案·····	238
8.2.3 分组码和系统码·····	196	附录A 常用数学公式 ·····	241
		附录B 误差函数值表 ·····	243
		附录C 英文缩写名词对照表 ·····	247
		参考文献 ·····	252

学习目标

通过本章的学习，您将能够：

- 理解信息、消息和信号的含义。
- 描述通信系统的组成及其各部件的功能。
- 解释模拟通信和数字通信的区别。
- 列举数字通信的优缺点。
- 熟悉单工/半双工/全双工通信方式。
- 计算信息量和信源熵。
- 理解波特率、比特率和频带利用率的含义。
- 熟悉误码率和误比特率的含义。
- 了解通信发展的历程。

引言

本章犹如一个向导，将引领读者对通信的基本概念和术语，通信系统的组成、分类和性能指标，信息的度量，以及通信发展历程有一个概括的认识。

1.1 通信的基本概念

1.1.1 通信与电信

通信（communication）的基本任务是传递消息中所包含的信息。从古到今，人类在生活、

工作和社会活动中都离不开信息的传递与交换。按照信息传递的手段与技术的不同,通信的发展经历了以下 5 个阶段(见图 1-1)。

语言(有声的或无声的)使得人们可以通过交谈、手势、表情等交流情感和意图,可以利用烽火台、击鼓或驿马传令。

文字的出现和纸张的发明,使得人们可以用书信的方式传递和交换信息,并由此开始了邮政业务。

印刷术的发明,使信息得以大量地存储和广泛地传播。

电信(telecommunication)是利用电信号来传递消息的通信方式。随着电报(1837 年)、电话(1876 年)的发明、调幅无线电广播(1918 年)的问世、商业电视广播(1936 年)的开播……人们逐渐步入了电信时代。电信具有迅速、准确、可靠等特点,且不受空间与时间、地点与距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。如今,在自然科学领域中,“通信”这个术语一般指的是“电信”。本书中所涉及的通信也均指电信。

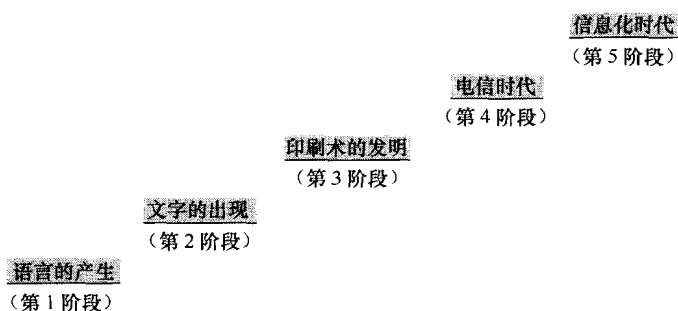


图 1-1 通信历程的 5 个阶段

当今,我们处在一个网络化的信息时代。通信网已经成为支撑国民经济、丰富人们生活、方便商务活动和政治事务的基础建设之一。信息产业已成为发展最快和令人向往的行业。因此,系统全面地介绍有关通信的基本理论、分析方法和关键技术是本门课程的主要任务。

1.1.2 消息、信息与信号

在学习通信的过程中,首先遇到的是“消息、信息和信号”这几个名词或术语。

消息(message)是通信系统有待于传输的对象,它来自于信源且有多种形式,如语音、音乐、活动图片、温度、文字、符号、数据等。

信息(information)无所不在,它存在于自然界和人类社会的任何事物的运动和变化中,可以被认知主体(生物或机器)获取和利用。例如,“迎春花开”在传递着“春天即将到来”

的信息。

信息的定义有多种。具有普遍性的定义是“信息是认识主体所感知的事物运动的状态与方式”，通俗地讲，信息是消息中有意义的内容，或者说是收信者原来不知而待知的内容。

信息与消息的关系可以这样理解：信息是消息的内涵，而消息是信息的外在形式。例如，古战场上的击鼓传令，是利用鼓声（消息）传递作战信息；抗日战争时期，少先队员利用“放倒消息树”向远处的村庄传递“日本鬼子入侵”的信息；十字路口的“信号灯”向行人或司机传递“红灯停、绿灯行”的信息。人们通过听广播（声音、音乐）和看电视（图像和声音）获得有关的信息。在当今信息社会中，信息已成为最宝贵的资源之一，如何有效而可靠地获取、传输和利用信息是本书研究的主要内容。

信号（signal）是消息的电表示形式。在电信系统中，为了将各种消息（如一幅图片）通过线路传输，必须首先将消息转变成电信号（如电压、电流、电磁波等），也就是把消息寄托在电信号的某个参量（如幅度、频率或相位）上。由于消息可以分为两大类：连续消息（如连续变化的语音和图像）和离散消息（如消息状态可数的符号或数据），所以信号也相应分为两大类（见表 1-1）。

表 1-1 信号类型与特征	
模 拟 信 号	数 字 信 号
特征：信号的取值是连续的	特征：信号的取值是离散的
例如：电话机送出的语音信号，摄像机输出的图像信号等	例如：电报机、计算机输出的信号

图 1-2 所示为一个模拟信号（analog signal）和一个数字信号（digital signal）。横轴代表时间，纵轴代表信号的取值。可见，模拟信号的曲线是连续的，有无穷多个取值；而数字信号从一个值到另一个值是瞬时发生的，就像开关电灯一样。最典型的数字信号是二进制信号（信号只有两种取值）。

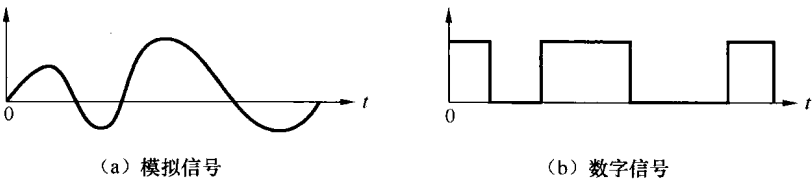


图 1-2 模拟信号和数字信号示例

消息与电信号之间的转换，通常由各种传感器来实现。例如，麦克风或话筒（声音传感

器)把声音转变成音频信号,摄像机把图像转变成视频信号,热敏电阻(温度传感器)把温度转变成电信号,压力传感器把力变成电信号,等等。

综上所述,消息、信息和信号这三者之间既有联系又有不同,即

- 消息是信息的外在形式;
- 信息则是消息的内涵;
- 信号是消息(或信息)的传输载体。

基于对上述内容的理解,通信(即电信)就是利用电信号将消息中所包含的信息从信源传递到目的地(信宿)。

1.2 通信系统的模型

1.2.1 基本模型

通信系统(communication system)是指完成通信这一过程所需的全部电子设备和信道的总体。图 1-3 所示为通信系统的基本模型,其各组成部分的作用简述如下。

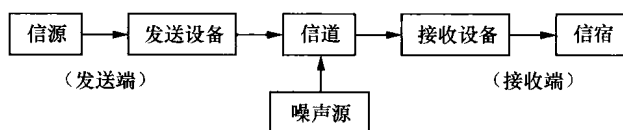


图 1-3 通信系统的基本模型

信源(information source)是消息(或信息)的发源地,其核心器件是输入传感器。它的作用是把消息(非电量)转换成电信号(称为消息信号)。如电话机的话筒(声音→音频信号)、摄像机(图像→视频信号)、电传机(键盘字符→数字信号)、计算机等各种数字设备。

发送设备(transmitter,发射机)的作用是对信源输出的消息信号进行处理和变换,以适合于在信道中传输。因此,发送设备涵盖的内容很多,通常包括放大、滤波、编码、调制、多路复用等过程。

信道(channel)是指用于传输信号的各种物理介质,如电缆和光纤(有线信道)、空间或大气(无线信道)。噪声源(noise source)是信道中的噪声以及通信系统其他各处噪声的集中表示。

接收设备(receiver,接收机)的功能与发送设备相反,即把收到的信号进行放大和反变换(如译码、解调等),其目的是从受到减损的接收信号中恢复出原始的消息信号。

信宿(destination)是消息(或信息)的目的地。其功能与信源相反,即把电信号还原成消息。例如,电话机的听筒将语音信号还原成声音。

图 1-3 所示的通信系统的基本模型反映了通信系统的共性。实际中,根据不同的传送对象和研究内容,会有更具体的通信系统模型。例如,按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,相应地有模拟通信系统和数字通信系统。

1.2.2 模拟通信系统模型

模拟通信系统 (Analog Communication System, ACS) 的模型如图 1-4 所示。

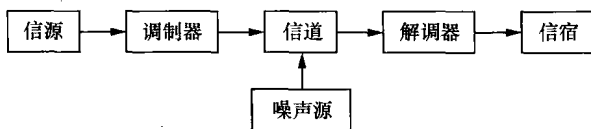


图 1-4 模拟通信系统模型

图 1-4 中包含以下两种重要变换。

(1) “连续消息 $\leftrightarrow$ 原始电信号”,即在发送端把连续消息变换成消息信号 (也称基带信号)。**基带**的含义是指信号的频谱从零频 (或接近零频) 开始到几兆赫兹,如语音信号 (300~3 400Hz)、图像信号 (0~6MHz)。在接收端进行相反的变换。完成这种变换和反变换的是信源和信宿。

(2) “基带信号 $\leftrightarrow$ 已调信号”,即把基带信号变换成适合在信道中传输的信号,并在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换的器件称为调制器和解调器,详见第 4 章。

应该指出,除上述的两种主要变换外,实际通信系统中一般还有滤波、放大、天线辐射等信号处理过程。但是,上述两种变换起主要作用,而其他处理只是对信号进行波形或性能上的改善,不会使信号发生质的变化。

1.2.3 数字通信系统模型

数字通信系统 (Digital Communication System, DCS) 的模型如图 1-5 所示。

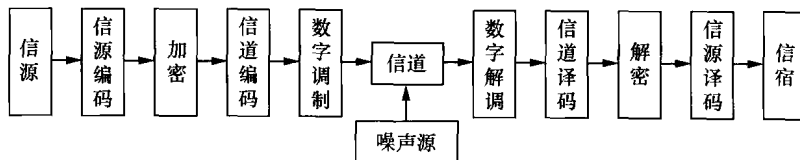


图 1-5 数字通信系统模型

对照图 1-3 所示的基本模型可知,这里的发送设备包括信源编码、加密、信道编码和数字调制,接收设备的位置与发送设备相对应,功能相反。各单元的主要功能简述如下。

信源编码 (source coding) 有两个基本功能。一是进行模/数 (Analog-to-Digital, A/D) 转换, 即将模拟信号编码成数字信号; 二是去除冗余 (多余) 信息, 以提高传输的有效性。解码 (译码) 是编码的逆过程。(详见第 5 章)

信道编码 的作用是进行差错控制。信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分 (监督码元), 组成所谓的“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按相应的规则进行解码, 从中发现错误或纠正错误, 提高通信系统的可靠性。(详见第 8 章)

加密 (Encryption) 是为了提供通信的保密性, 防止没有被授权的用户获得信息或将差错信息加入到系统中。本书不予讨论。

数字调制与模拟调制 的本质及原理相似, 都是把基带信号 (这里是数字基带信号) 加载到高频载波上。解调是调制的逆过程。(详见第 7 章)

说明: ①除上述单元外, 同步 (详见第 9 章)、多路复用、扩频等技术通常也是系统的组成部分, 但在图 1-5 中未画出。②图 1-5 所示为数字通信系统的一般化模型, 实际的数字通信系统不一定包括图中的所有单元。例如, 数字基带系统 (详见第 6 章) 中无需调制和解调。

应该指出, 模拟信号数字化后可以用数字方式传输, 如数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子; 数字信号也可以在模拟信道中传输, 如计算机数据可以通过传统的电话网来传输, 但需要使用“调制解调器 (Modem)”, 以适应模拟信道的传输特性。Modem 集合调制和解调两种功能, 是一种允许数据通过模拟信道传输的设备。

由以上通信系统模型可知, 在完成通信的过程中, 将涉及以下主要通信技术:

“编码、解码、调制、解调”

其中

“编码/解码”分为 $\begin{cases} \text{信源编码/解码} \\ \text{信道编码/解码} \end{cases}$

“调制/解调”分为 $\begin{cases} \text{基带调制与载波调制} \\ \text{模拟调制与数字调制} \end{cases}$

本书的重点就是介绍这些技术的原理、性能和应用。

1.2.4 数字通信的优缺点

数字通信已经成为当代通信系统的主流。这是因为与模拟通信相比, 数字通信具有以下主要优点。

(1) 抗干扰能力强。在远距离传输中, 可利用中继器对数字信号进行判决再生处理来消

除噪声的积累。

(2) 便于进行差错控制(通过信道编码进行纠错或检错),改善通信质量。

(3) 支持复杂的信号处理技术(如语音编码、加密技术和均衡技术),便于利用计算机对数字信号进行处理、存储和交换。

(4) 可将不同类型的信息(如语音、数据、视频图像等)综合到一个信道中进行多路传输(这是因为都可转换成相同的信号——比特信号)。

(5) 易于集成,从而使通信设备的体积小、重量轻、功耗小和成本低。

(6) 便于加密,且保密性好。

数字通信的缺点:比模拟通信占用更宽的信道带宽,对同步要求高而需要较复杂的同步设备。不过,大规模集成电路的出现取代了复杂的电路,同时,高效的数据压缩技术以及宽带传输介质(如光纤)的使用正逐渐使带宽问题得到解决。因此,数字通信的应用会越来越广泛。

1.3 通信系统的分类

通信系统可以从不同角度进行分类,常见分类如下。

(1) 按信道中传输信号的特征分类。

① 模拟通信——信道中传输的是模拟信号。

② 数字通信——信道中传输的是数字信号。

(2) 按传输介质分类。

① 有线通信——用导线(如各种电缆)作为传输媒质。如市话系统、有线电视系统、海底电缆通信系统等。

② 无线通信——用自由空间作为传输媒质,即利用无线电波进行通信的系统。如广播电视系统,移动电话系统等。

(3) 按传输方式分类。

① 基带传输——以基带信号(未经调制的信号)作为传输信号的系统。

② 带通传输——以已调信号(经过调制的信号)作为传输信号的系统。

(4) 按通信业务特征分类。

可分为电话、电报、图像、数据通信等。目前,已实现了业务综合,即把各种通信业务(电话、电报、传真、数据、图像)综合在一个网内传输。其中,电话通信网是一种电信业务量最大、服务面积最广的专业网,可兼容其他许多种非话业务网。

(5) 按工作波段分类。

根据波长的大小或频率的高低,可将电磁波划分成不同的波段(或频段),分别称为长波、

中波、短波、微波、远红外通信等。关于波段的划分和用途，详见第3章的表3-1。

(6) 按信号复用方式分类。

在同一条物理信道中同时传输多路信号时要采用复用方式。常用的复用方式有：频分复用、时分复用、码分复用和空分复用等。

需要说明，同一个通信系统可以分属于不同的分类。也就是说，有些分类是可以兼容和并存的。如大家熟悉的无线电广播系统，也是中波或短波通信系统、模拟通信系统和带通传输系统（调制系统）。

1.4 通信方式

通信方式是指通信双方（或多方）之间的工作方式。例如，对于点对点之间的通信，按消息传输的方向与时间的关系，可分为单工（simplex）、半双工（half-duplex）和全双工（full-duplex）通信。又如，在数字通信中，按照数字信号码元传输的时序，可分为并行传输和串行传输。

1.4.1 单工、半双工和全双工通信

单工通信：就像是单行道，只能单方向传递消息，其工作过程如图1-6（a）所示。例如，广播（电台把消息传送到收音机）、遥测、遥控、无线寻呼等都是单工通信方式。

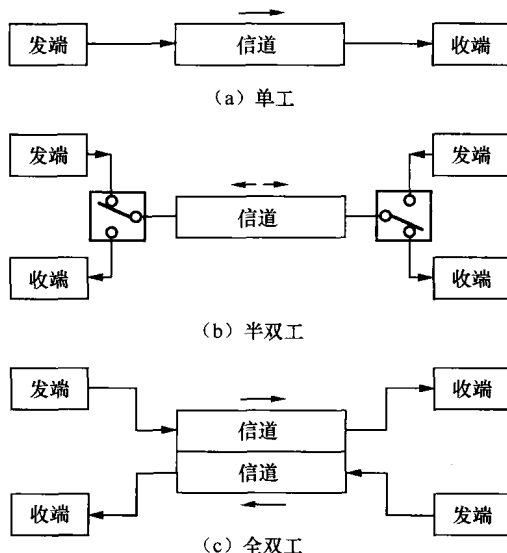


图 1-6 通信方式示意图

半双工通信：指通信的双方都具有发信和收信功能，但不能同时收发，如图 1-6（b）所示。这种方式就像只有一个车道的双向交通，当某个方向的车辆正在行驶时，向另一个方向行驶的车辆必须等待。例如，对讲机、问询、检索等。

全双工通信：通信的双方可同时进行收发消息，如图 1-6（c）所示。该方式就像是允许两个方向的车辆同时通行的双车道。例如，普通电话、移动电话（手机）都是全双工通信方式。这时通信双方都要有发送和接收设备，信源兼为信宿。

1.4.2 并行传输和串行传输

并行传输是将代表消息的数字码元序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输，如图 1-7 所示。它的优势在于节省传输时间、速度快，缺点是需要多条通信线路、成本高，因此通常只用于设备之间的近距离通信，如计算机和打印机之间数据的传输。

串行传输是将数字码元序列按时间顺序一个接一个地在一条信道中传输，如图 1-8 所示。远距离的数字通信多采用这种方式。串行传输的优点是只需一条通信信道，所需线路铺设费用比并行传输的低，但比并行传输的速度慢。

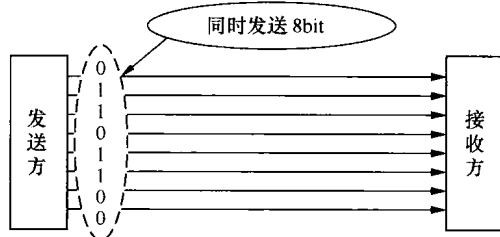


图 1-7 并行传输

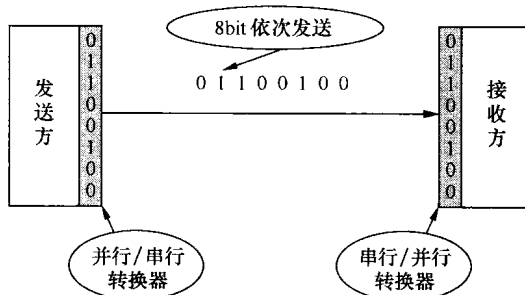


图 1-8 串行传输

1.5 信息的度量

通信的目的在于传输消息中所包含的信息。信息的多少可用“信息量”来度量。消息中所包含的信息量与消息发生的概率密切相关。消息出现的概率越小，则消息中包含的信息量就越大。例如，“某国世贸大楼被炸”这条消息比“今天有雨”这条消息包含有更多的信息量。这是因为，前一条消息所表达的事件发生的概率极小。下面介绍离散消息和数字（离散）信源发出的信息的度量方法。