



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

通信原理

主 编 张会生

副主编 张 捷 李立欣



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

通信原理

Tongxin Yuanli

主 编 张会生

副主编 张 捷 李立欣



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,系统地介绍现代通信的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共 12 章:绪论、随机信号与噪声分析、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、现代数字调制技术、模拟信号的数字传输、差错控制编码、数字信号的最佳接收、同步原理、现代通信系统介绍。章后设有思考题和习题。书后有 4 个附录:常用三角函数公式、Q 函数和误差函数、傅里叶变换、部分习题答案。全书内容丰富、取材新颖,叙述由浅入深、简明透彻,概念清楚、重点突出,既便于教师组织教学,又适于学生自学。

本书可作为普通高等学校通信、电子、信息、控制、计算机应用等专业本科生教材,也可供 IT 类专业工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/张会生主编. —北京:高等教育出版社,2011.2

ISBN 978-7-04-031394-9

I. ①通… II. ①张… III. ①通信理论—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 007202 号

策划编辑	吴陈滨	责任编辑	王莉莉	封面设计	张楠	责任绘图	尹莉
版式设计	王艳红	责任校对	陈旭颖	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 23.5
字 数 570 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 2 月第 1 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 36.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31394-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,旨在系统介绍现代通信的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共 12 章:绪论、随机信号与噪声分析、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、现代数字调制技术、模拟信号的数字传输、差错控制编码、数字信号的最佳接收、同步原理、现代通信系统介绍。

作为高等教育电子信息类专业重要的专业基础课教材,在本书的编写过程中力求做到以下几点:

符合普通本科教育特点。物理概念讲解与数学分析并重,讲述由浅入深,难点分散,重点突出,力求简明透彻,以利学生系统掌握通信原理的基本知识,培养学生具有良好的可持续发展能力。

重视系统性,突出应用性,体现先进性。既介绍模拟通信,又介绍数字通信,但以数字通信为主。既讲述通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法,又介绍新技术、新发展;注重通信技术在实际系统中的应用,注意吸收新技术和新的通信系统。

选材丰富新颖,编排系统连贯。教材的宏观体系是,先基础知识,后系统介绍;先模拟通信系统,后数字通信系统。章后设有思考题和习题,书后有 4 个附录:常用三角公式、Q 函数和误差函数、傅里叶变换、部分习题答案。既便于教师组织教学,又利于学生自学。

本书参考学时为 60~80 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不同进行自由取舍,灵活讲授。如先修课已学过“高频电子线路”,则模拟调制系统一章可以少讲或不讲;目录中打*的章节属加深、拓宽内容,可以根据专业需求,进行选择性的讲授。

本书由张会生担任主编,张捷、李立欣担任副主编,空军工程大学吴家安教授担任主审。张会生编写了第 1、2、3、4、5、6、7 章及附录,张捷编写了第 8、9、10、11 章,李立欣编写了第 12 章。全书由张会生规划、统编定稿。

吴家安教授对本书进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵的意见和修改建议,使本书增色不少,在此表示诚挚感谢。

在本书的编写过程中,得到了西北工业大学的大力支持和资助,在此表示感谢。

为便于教学,与本书配套,编者还制作了电子教学课件,各校任课教师可从中国高校电子电气课程网(<http://ee.cncourse.com>)免费下载。

限于编者水平,书中难免存在错误和不足,恳请各位专家、同行和广大读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月于西安

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5 平稳随机过程通过线性系统	27
1.1 引言	1	2.5.1 输出过程的表达式	27
1.2 通信的基本概念	1	2.5.2 输出过程的统计特性	28
1.3 通信系统的组成	2	2.6 窄带随机过程	29
1.3.1 通信系统的一般组成	2	2.6.1 窄带随机过程的概念	29
1.3.2 模拟通信系统的组成	2	2.6.2 同相和正交分量的统计特性	30
1.3.3 数字通信系统的组成	3	2.6.3 包络和相位的统计特性	32
1.3.4 数字通信的主要特点	4	2.7 正弦波加窄带高斯噪声	33
1.4 通信系统的分类与通信方式	5	2.7.1 合成波的表达式	33
1.4.1 通信系统的分类	5	2.7.2 合成包络和合成相位的 统计特性	34
1.4.2 通信方式	7	2.8 高斯白噪声和带限白噪声	35
1.5 通信系统的主要性能指标	9	2.8.1 白噪声	35
1.5.1 一般通信系统的性能指标	9	2.8.2 高斯白噪声	36
1.5.2 信息及其度量	9	2.8.3 带限白噪声	36
1.5.3 有效性指标的具体描述	12	思考题	38
1.5.4 可靠性指标的具体描述	13	习题	39
思考题	14	第 3 章 信道与噪声	41
习题	14	3.1 引言	41
第 2 章 随机信号与噪声分析	16	3.2 信道的基本概念	41
2.1 引言	16	3.2.1 信道的定义	41
2.2 随机过程的基本概念	16	3.2.2 信道的分类	41
2.2.1 随机过程的概念	16	3.2.3 信道的数学模型	42
2.2.2 随机过程的统计描述	17	3.3 恒参信道及其对所传信号的影响	45
2.3 平稳随机过程	19	3.3.1 信号不失真传输条件	45
2.3.1 平稳随机过程的概念	19	3.3.2 幅度-频率畸变	45
2.3.2 平稳随机过程的各态历经性	20	3.3.3 相位-频率畸变(群延迟畸变)	46
2.3.3 平稳随机过程的自相关函数	21	3.3.4 减小畸变的措施	46
2.3.4 平稳随机过程的功率谱密度	22	3.4 随参信道及其对所传信号的影响	47
2.4 高斯随机过程	24	3.4.1 随参信道传输媒质的特点	47
2.4.1 高斯过程的定义	24		
2.4.2 高斯过程的性质	24		
2.4.3 高斯随机变量	25		

3.4.2 随参信道对信号传输的影响	47	5.2.3 数字基带信号的频谱特性	99
3.4.3 随参信道特性的改善	50	5.3 基带传输系统的脉冲	
3.5 信道的加性噪声	51	传输与码间串扰	105
3.5.1 噪声来源及其分类	51	5.3.1 数字基带传输系统的	
3.5.2 起伏噪声的统计特性	52	工作原理	105
3.5.3 等效噪声带宽	53	5.3.2 基带传输系统的码间串扰	106
3.6 信道容量的概念	54	5.3.3 码间串扰的消除	107
思考题	55	5.4 无码间串扰的基带传输系统	108
习题	55	5.4.1 无码间串扰的时域条件	108
第4章 模拟调制系统	57	5.4.2 无码间串扰的频域条件	109
4.1 引言	57	5.4.3 理想基带传输系统	110
4.2 幅度调制的原理	57	5.4.4 实用的无码间串扰基带	
4.2.1 幅度调制的一般模型	57	传输特性	111
4.2.2 常规双边带调幅(AM)	58	5.5 无码间串扰基带传输系统的	
4.2.3 抑制载波的双边带		抗噪声性能	114
调幅(DSB-SC)	61	5.6 部分响应系统	116
4.2.4 单边带调制(SSB)	62	5.6.1 部分响应系统的基本原理	117
4.2.5 残留边带调制(VSB)	65	5.6.2 一种实用的部分响应系统	118
4.3 线性调制系统的抗噪声性能	66	5.6.3 一般形式的部分响应系统	119
4.3.1 通信系统抗噪声性能分析模型 ..	67	5.7 眼图	121
4.3.2 线性调制相干解调系统的		5.7.1 眼图的概念	122
抗噪声性能	68	5.7.2 眼图形成原理及模型	122
4.3.3 常规调幅包络检波系统的		5.8 时域均衡原理	123
抗噪声性能	71	5.8.1 均衡的概念	123
4.4 角度调制(非线性调制)的原理 ..	73	5.8.2 时域均衡的基本原理	123
4.4.1 角度调制的基本概念	74	5.8.3 有限长横向滤波器	125
4.4.2 窄带调频与宽带调频	75	5.8.4 时域均衡算法及实现	126
4.4.3 调频信号的产生与解调	79	思考题	128
4.5 调频系统的抗噪声性能	82	习题	129
4.6 各种模拟调制系统的比较	88	第6章 数字信号的频带传输	132
4.7 频分复用(FDM)	90	6.1 引言	132
思考题	91	6.2 二进制幅度键控(2ASK)	132
习题	92	6.2.1 一般原理与实现方法	132
第5章 数字基带传输系统	94	6.2.2 2ASK 信号的功率谱及带宽	134
5.1 引言	94	6.2.3 2ASK 系统的抗噪声性能	135
5.2 数字基带信号	94	6.3 二进制频移键控(2FSK)	140
5.2.1 数字基带信号的码型设计原则 ..	94	6.3.1 2FSK 调制原理与实现方法	140
5.2.2 数字基带信号的常用码型	95	6.3.2 2FSK 信号的解调	141

6.3.3	2FSK 信号的功率谱及带宽	144	8.2.2	理想抽样	190
6.3.4	2FSK 系统的抗噪声性能	145	8.2.3	自然抽样	191
6.4	二进制相移键控	150	8.2.4	平顶抽样(瞬时抽样)	192
6.4.1	二进制相移键控(2PSK)	150	8.2.5	脉冲调制的分类	193
6.4.2	二进制差分相移键控(2DPSK)	154	8.2.6	脉冲幅度调制(PAM)信号的传输	194
6.5	二进制数字调制系统的性能比较	161	8.2.7	带通信号的抽样定理	194
6.6	多进制数字调制系统	162	8.3	模拟信号的量化	194
6.6.1	多进制幅度键控(MASK)	163	8.3.1	均匀量化	195
6.6.2	多进制频移键控(MFSK)	165	8.3.2	非均匀量化	196
6.6.3	多进制相移键控	167	8.3.3	13 折线法	197
思考题		172	8.4	脉冲编码调制(PCM)	198
习题		173	8.4.1	PCM 编译码的实现	198
*第 7 章 现代数字调制技术		175	8.4.2	A 律 13 折线逐次比较型编译码的方法	202
7.1	引言	175	8.4.3	PCM 系统的抗噪声性能	203
7.2	正交幅度调制(QAM)	175	8.5	增量调制(DM)	206
7.2.1	正交幅度调制的信号表示	175	8.5.1	增量调制原理及系统组成	206
* 7.2.2	QAM 信号的产生和解调	177	8.5.2	增量调制系统的量化误差	207
7.2.3	QAM 方式的性能	178	8.5.3	增量调制系统的量化信噪比	208
7.3	交错正交相移键控(OQPSK)	178	8.5.4	PCM 系统与增量调制(DM)系统的比较	209
7.4	最小频移键控(MSK)	180	8.6	时分复用(TDM)	209
7.4.1	MSK 信号的正交性	180	8.6.1	时分复用的概念及系统组成	209
7.4.2	MSK 信号的相位连续性	180	8.6.2	时分复用系统的帧结构	210
7.4.3	MSK 信号的产生和解调	182	8.6.3	时分复用系统的传输带宽	211
7.4.4	MSK 信号的频谱特性	183	8.6.4	时分复用多路数字电话系统群路标准	212
7.5	高斯最小频移键控(GMSK)	183	* 8.7 信源压缩编码简介		214
7.6	正交频分复用(OFDM)	184	8.7.1	信源压缩编码概述	214
7.6.1	多载波调制的概念	184	8.7.2	差分脉冲编码调制(DPCM)及自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	214
7.6.2	OFDM 的基本原理	185	8.7.3	参数编码器——语音压缩编码	217
7.6.3	OFDM 的实现	187	8.7.4	变换域编码——离散余弦变换(DCT)	219
思考题		188			
习题		188			
第 8 章 模拟信号的数字传输		189			
8.1	引言	189			
8.2	抽样定理	189			
8.2.1	低通信号的抽样定理及其意义	189			

思考题	222	9.8.4 TCM 中的软判决 Viterbi	
习题	223	译码	256
第 9 章 差错控制编码	225	思考题	257
9.1 引言	225	习题	258
9.2 差错控制编码的基本概念	225	第 10 章 数字信号的最佳接收	260
9.2.1 差错类型	225	10.1 引言	260
9.2.2 差错控制的基本方法	225	10.2 数字通信系统的统计判决	
9.2.3 差错控制方式	227	模型	260
9.2.4 差错控制编码的效用	227	10.3 最大信噪比准则及匹配	
9.2.5 差错控制编码的分类	227	滤波器	262
9.3 常用的简单检错码	228	10.3.1 匹配滤波器	262
9.3.1 奇偶校验	228	10.3.2 匹配滤波器形式的最佳	
9.3.2 纵向奇偶校验(LRC)	228	接收机	264
9.3.3 水平垂直奇偶校验	229	10.4 最小错误概率准则及相关	
9.3.4 群计数码	229	接收机	266
9.3.5 等重码(恒比码)	229	10.4.1 最小错误概率准则	266
9.4 线性分组码	230	10.4.2 相关检测式的最佳接收机	267
9.4.1 线性分组码的构成	230	10.5 二进制最佳接收机的	
9.4.2 线性分组码的监督和生成		抗噪声性能	269
矩阵	232	10.5.1 二进制最佳接收机的性能	
9.4.3 线性分组码的伴随式译码	233	分析	269
9.4.4 汉明码	235	10.5.2 二进制确定信号的最佳形式	270
9.5 循环码	235	10.5.3 最佳接收机和普通接收机的	
9.5.1 循环码的特点	236	性能比较	272
9.5.2 生成多项式和生成矩阵	237	10.6 正交接收机——随相信号的	
9.5.3 系统循环码的编码实现	238	最佳接收	273
9.5.4 循环码的译码	240	10.6.1 二进制随相信号的最佳	
9.6 检测和纠正突发错误的		接收机	273
分组码——交织码	243	10.6.2 正交接收机	275
9.7 卷积码	244	10.7 最佳数字传输系统	277
9.7.1 卷积码的基本原理	244	10.7.1 最佳基带传输系统的概念	277
9.7.2 卷积码的图解表示	245	10.7.2 理想信道下的最佳基带	
9.7.3 卷积码的解析表示	248	传输系统	277
9.7.4 卷积码的译码	250	10.7.3 非理想信道下的最佳基带	
9.8 网格编码调制(TCM)	253	传输系统	278
9.8.1 TCM 编码器结构	253	10.7.4 理想信道下的最佳数字	
9.8.2 子集分割原理	253	传输系统	280
9.8.3 编码增益	255	思考题	280

习题	281	12.3 GSM 数字蜂窝移动通信系统 ...	320
第 11 章 同步原理	284	12.3.1 GSM 系统的主要性能和特点	320
11.1 引言	284	12.3.2 GSM 系统的体系结构	322
11.2 锁相环的基本原理	284	12.3.3 GSM 系统的无线接口	325
11.2.1 锁相环的组成及其各个环节的功用	285	12.3.4 GSM 的信道类型	327
11.2.2 锁相环的相位模型与传输函数 ...	287	12.3.5 GSM 系统研究新进展	329
11.3 载波同步	288	12.4 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	330
11.3.1 载波同步的方法	289	12.4.1 CDMA 系统原理及特点	330
11.3.2 载波同步系统的性能及其对传输系统误码率的影响	293	12.4.2 频率和信道规范	331
11.4 位同步	295	12.4.3 CDMA 下行信道	332
11.4.1 位同步的方法	296	12.4.4 CDMA 上行信道	334
11.4.2 位同步系统的性能	300	12.5 第三代移动通信系统	335
11.4.3 相位误差对传输系统误码率的影响	302	12.5.1 IMT-2000 介绍	335
11.5 帧同步	303	12.5.2 IMT-2000 业务特征	337
11.5.1 帧同步的方法	303	12.5.3 IMT-2000 频谱规划	337
11.5.2 巴克码作帧同步码	303	12.5.4 第三代移动通信系统的关键技术	339
11.5.3 帧同步系统的性能	305	12.5.5 第三代移动通信系统标准	341
11.5.4 帧同步的保护	307	12.5.6 B3G 和 4G 移动通信系统	345
思考题	309	思考题	348
习题	309	附录	349
第 12 章 现代通信系统介绍	311	附录 A 常用三角函数公式	349
12.1 引言	311	附录 B Q 函数和误差函数	349
12.2 无线局域网	311	附录 C 傅里叶变换	354
12.2.1 扩频通信技术	311	附录 D 部分习题答案	355
12.2.2 802.11 无线局域网	314	参考书目	362
12.2.3 蓝牙技术	316		

第1章 绪 论

1.1 引 言

本章主要介绍通信的基本概念,如通信的定义,通信系统的组成、分类和工作方式,衡量通信系统的主要性能指标等,目的是使读者对通信的基本概念、术语以及本课程所要研究的主要内容有一个初步了解。这些基本概念是通信原理与通信技术的基础。

1.2 通信的基本概念

人类社会建立在信息交流的基础上。作为信息交流的技术手段,通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。从远古时代到现代文明社会,人类社会的各种活动与通信密切相关,特别是当今世界已进入信息时代,通信已渗透到社会各个领域,通信产品随处可见。通信对人们日常生活和社会活动及发展正起着日益重要的作用。

一般地说,通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。按此定义,通信这一“活动”古已有之,只是所利用的方式和手段随着社会的进步有所不同罢了。如古代的“烽火台”、“消息树”和现代仍使用的“信号灯”等是利用光的方式传递消息;现代的电话、广播、电视是利用电的方式来传递消息;而两个人之间的普通对话,则是利用声的方式来直接传递消息的。

通信的目的是传递消息。消息是物质或精神状态的一种反映,其内容包罗万象,如海湾战争、卫星发射、金融风暴、开关通断等;其表达形式各式各样,如语言、文字、数据、图像、符号等;一切有意义的消息,应该携带有用的信息。随着社会的发展,消息的种类越来越多,人们对传递消息的要求和手段也越来越高。

通信是典型的“信号与系统”的集合,通信中消息的传送是以信号的形式在系统中进行的。如“烽火台”、“消息树”声光系统中的红绿灯、狼烟信号;电话、广播、电视电信系统中的电压、电流信号等。这里,信号是消息的载荷者,是与消息一一对应的东西。在电信系统里,载荷者为“电”,对应的消息被载荷在电信号的某些参量上,如电压、电流或电波等物理量(进一步还可以是该物理量的幅度、相位或频率等)。此时的信号为电信号,习惯上简称为信号。通信中系统的作用,就是要将有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。

在各种各样的通信方式中,利用“电信号”来承载消息的通信方法称之为电通信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。如今,在自然科学中,“通信”与“电通信”几乎是同义词了。本课程中所说的通信,均指电通信。据此,不妨对通信重新定义:利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号)实现从一地到另一地进行消息的有效传递称为通信。

当今的通信不仅要有效地传递信息,而且还要有采集、处理、存储及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.3 通信系统的组成

1.3.1 通信系统的一般组成

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,通信系统的一般组成(通常也称为一般模型)如图 1-1 所示。

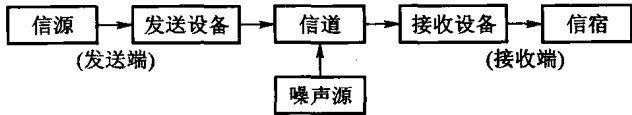


图 1-1 通信系统的一般组成

图 1-1 中,信源(信息源,也称发终端)的作用是把待传输的消息转换成原始电信号,如电话系统中的电话机话筒可看成是信源。信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式,如语音信号为 300~3 400 Hz,图像信号为 0~6 MHz。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应地,信源也分为数字信源和模拟信源。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)转换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式;对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输的通道,可以有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。图中的噪声源,是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行解调、译码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号来。

信宿(也称受信者或收终端)是将复原出的原始电信号转换成相应的消息,如电话机的听筒将对方传来的电信号还原成声音。

图 1-1 给出的是通信系统的一般组成,按照信道中所传信号的形式不同,可进一步具体化为模拟通信系统和数字通信系统。

1.3.2 模拟通信系统的组成

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成可由一般通信系统模型略加改变而成,如图 1-2 所示。这里,一般通信系统模型中的发送设备和接收设备分别为调制器、解调器所代替。

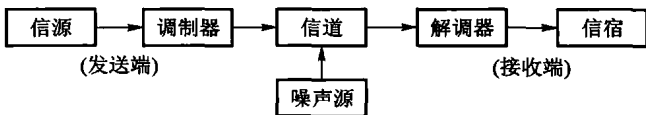


图 1-2 模拟通信系统的组成

对于模拟通信系统,它主要包含两种重要变换。一是把连续消息变换成电信号(发送端信源完成)和把电信号恢复成最初的连续消息(接收端信宿完成)。由信源输出的电信号(基带信号)由于具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号而送到信道中去。因此,模拟通信系统里常用第二种变换,即将基带信号转换成适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成;在接收端同样需经相反的变换,它由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性:一是携带有消息,二是适合在信道中传输,三是频谱具有带通形式,且中心频率远离零频。因而已调信号又常称为频带信号。

必须指出,从消息的发送到消息的恢复,事实上并非仅有以上两种变换,通常在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。对信号传输而言,由于上面两种变换对信号形式的变化起着决定性作用,它们是通信过程中的重要方面,而其他过程对信号变化来说,没有发生质的作用,只不过是信号进行了放大和改善信号特性等,因此,这些过程我们认为都是理想的,而不去讨论它。

模拟调制系统的详细讨论,将在本书第4章中进行。

1.3.3 数字通信系统的组成

信道中传输数字信号的通信系统,称为数字通信系统。数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统。

1. 数字频带传输通信系统

数字通信的基本特征是,它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性,从而使数字通信具有许多特殊的问题。例如前面提到的第二种变换,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与代表消息的基带信号之间的比例特性;而在数字通信中,则强调已调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。

另外,数字通信中还存在以下突出问题:第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错,原则上是可以控制的,通过所谓的差错控制编码来实现。于是,就需要在发送端增加一个编码器,而在接收端相应地增加一个解码器。第二,当需要实现保密通信时,可对数字基带信号进行人为“扰乱”(加密),此时在接收端就必须进行解密。第三,由于数字通信传输的是一个接一个按一定节拍传送的数字信号,因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍,否则,就会因收发步调不一致而造成混乱。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息特征进行编组的,于是,在收发之间一组组编码的规律也必须一致,否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中,称节拍一致为“位同步”或“码元同步”,而称编组一致为“群同步”或“帧同步”,故数字通信中还必须要有“同步”这个重要问题。

综上所述,点对点数字通信系统的一般模型如图1-3所示。

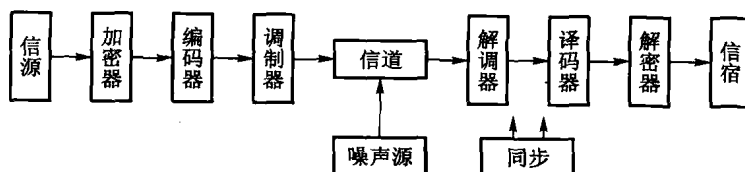


图 1-3 点对点数字通信系统的一般模型

需要说明的是,图中调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节在具体通信系统中是否采用,要取决于具体设计的条件和要求。但在一个系统中,如果发送端有调制/加密/编码,则接收端必须有与之对应的解调/解密/译码反过程。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

数字频带传输系统的详细讨论,将在本书第 6、7 章中进行。

2. 数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应,把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统,如图 1-4 所示。

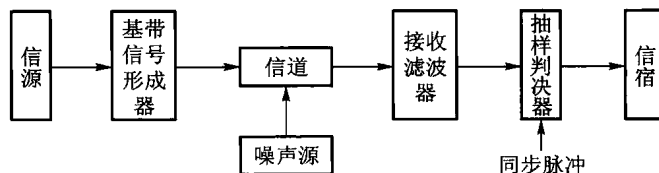


图 1-4 数字基带传输系统模型

图 1-4 中,基带信号形成器用于将信源产生的原始电信号变换为适于信道传输以及利于接收端提取同步信号的基带信号。基带信号形成器还可能包括编码器、加密器以及波形变换器等,抽样判决器后亦可能包括译码器、解密器等。

数字基带传输系统的详细讨论,将在本书第 5 章中进行。

3. 模拟信号数字化传输通信系统

上面论述的数字通信系统中,信源输出的信号均为数字基带信号,实际上,在日常生活中大部分信号(如语音信号)为连续变化的模拟信号。那么要实现模拟信号在数字系统中的传输,则必须在发送端将模拟信号数字化,即进行模/数(A/D)转换;在接收端需进行相反的转换,即数/模(D/A)转换。实现模拟信号数字化传输的系统如图 1-5 所示,其中,模/数转换器一般由抽样、量化、编码等部分组成。

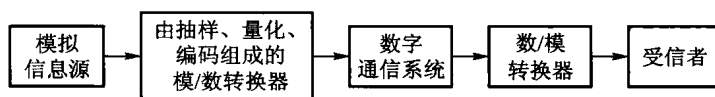


图 1-5 模拟信号数字化传输系统模型

模拟信号数字传输系统的详细讨论,将在本书第 8 章中进行。

1.3.4 数字通信的主要特点

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是,数字通信的发展速度明显超过模拟通信,成为当代通信的主流。与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。

1. 数字通信的主要优点

(1) 抗干扰能力强

由于在数字通信中,传输的信号幅度是离散的,以二进制为例,信号的取值只有两个,这样接收端只需判别两种状态。信号在传输过程中受到噪声的干扰,必然会使波形失真,接收端对其进

行抽样判决,以辨别是两种状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确性,就能正确接收(再生)。而在模拟通信中,传输的信号幅度是连续变化的,一旦叠加上噪声,即使噪声很小,也很难消除它。

数字通信抗噪声性能好,还表现在微波中继通信时,它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后,只要不发生错码,它仍然像信源中发出的信号一样,没有噪声叠加在上面。因此中继站再多,数字通信仍具有良好的通信质量。而模拟通信中继时,只能增加信号能量(对信号放大),而不能消除噪声。

(2) 差错可控

数字信号在传输过程中出现的错误(差错),可通过差错控制编码技术来控制,以提高传输的可靠性。差错控制编码技术的讨论,将在本书第9章中进行。

(3) 易加密

数字信号与模拟信号相比,它容易加密和解密。因此,数字通信保密性好。

(4) 易于与现代技术相结合

由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展,许多设备、终端接口均是数字信号,因此极易与数字通信系统相连接。

2. 数字通信的缺点

相对于模拟通信来说,数字通信主要有以下两个缺点:

(1) 频带利用率不高

系统的频带利用率,可用系统允许最大传输带宽(信道的带宽)与每路信号的有效带宽之比来表征,即

$$n = \frac{B_w}{B_i} \quad (1.3-1)$$

式中, B_w 为系统允许最大频带宽度; B_i 为每路信号的频带宽度; n 为系统在其带宽内最多能容纳(传输)的信号路数。 n 值愈大,系统利用率愈高。

数字通信中,数字信号占用的频带宽。以电话为例,一路模拟电话通常只占据4 kHz带宽,但一路接近同样语音质量的数字电话可能要占据20~60 kHz的带宽。因此,如果系统传输带宽一定的話,模拟电话的频带利用率要高出数字电话的5~15倍。

(2) 系统设备比较复杂

数字通信中,要准确地恢复信号,接收端需要严格的同步系统,以保持接收端和发送端严格的节拍一致、编组一致。因此,数字通信系统及设备一般都比较复杂。

不过,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用,以及窄带调制技术、数据压缩技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点越来越弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占主导地位。

1.4 通信系统的分类与通信方式

1.4.1 通信系统的分类

按照不同的分法,通信系统可分成许多类别,下面介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分

按信道传输媒质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是媒质能看得见,摸得着。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

2. 按信道中所传信号的特征分

前面已经指出,按照信道中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为模拟通信系统与数字通信系统。

3. 按工作频段分

按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表 1-1 列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

表 1-1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波长	频段名称	常用传输媒介	用途
3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频 VLF	有线线对 超长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30~300 kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300 MHz	$10 \sim 1$ m	甚高频 VHF	同轴电缆 超短波/米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300 MHz~3 GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频 UHF	波导 微波/分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	$10 \sim 1$ cm	超高频 SHF	波导 微波/厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300 GHz	$10 \sim 1$ mm	极高频 EHF	波导 微波/毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	红外、可见光、紫外	光纤 激光空间传播	光通信

表 1-1 中,工作频率和工作波长可以互换,其关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.4-1)$$

式中, λ 为工作波长, 单位为 m; f 为工作频率, 单位为 Hz; $C=3\times 10^8$ m/s 为电波在自由空间中的传播速度。

4. 按调制方式分

前面已经指出, 根据是否采用调制, 可将通信系统分为基带传输和频带传输。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送, 如音频市内电话; 频带传输是对各种信号调制后再送到信道中传输的总称。调制的方式很多, 将在后续章节中论述。

5. 按通信业务类型分

按通信业务类型分, 通信系统可分为话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位, 它属于人与人之间的通信。近年来, 非话务通信发展迅速, 它主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达, 因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中, 各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输。

另外, 从广义的角度来看, 广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴, 因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展, 目前它们已从通信中派生出来, 形成了独立的学科。

6. 按通信者是否运动分

通信还可按收、发信者(通信者)是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换的通信。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活等特点, 能使用户随时随地快速可靠地进行信息传递, 因此, 已被列为现代通信中的三大新兴通信方式之一。

7. 按信号复用方式分

在同一信道中传输多路信号时要采用复用的方式。按信号复用方式, 通信系统又可分为频分复用(FDM)通信(将在第 4 章中介绍)、时分复用(TDM)通信(将在第 8 章中介绍)、码分复用(CDM)通信和空分复用(SDM)等。

另外, 通信还有其他一些分类方法, 如按用户类型可分为公用通信和专用通信, 按通信对象的位置分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

1.4.2 通信方式

按照不同的分法, 通信的工作方式也可分成许多类别, 通常有以下几种。

1. 按消息传送的方向与时间分

对于点对点之间的通信, 按消息传送的方向与时间, 通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信, 是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式, 如图 1-6(a)所示。单工通信的例子很多, 如广播、遥控、无线寻呼等。这里, 信号只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。

所谓半双工通信方式, 是指通信双方都能收发消息, 但不能同时进行收和发的工作方式, 如图 1-6(b)所示。对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

所谓全双工通信, 是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式, 如图 1-6(c)所示。

在这种方式下,双方都可同时进行收发消息。很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话、手机等。

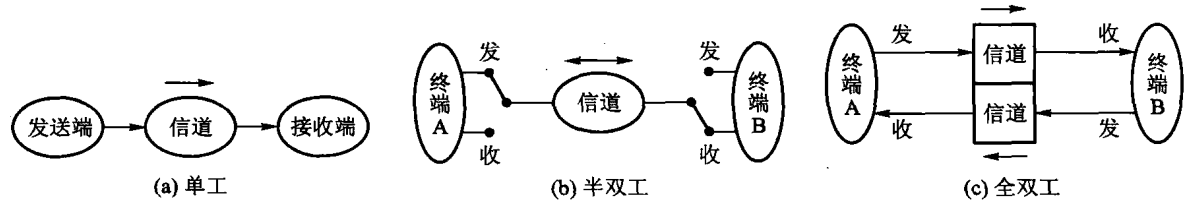


图 1-6 单工、半双工和双工通信方式示意图

2. 按数字信号排序方式分

在数字通信中,按照数字信号代码排列顺序的方式不同,可将通信方式分为串序传输和并序传输。

所谓串序传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如图 1-7(a)所示。串序传输的优点是只需一条信道,设备简单,传输距离远。但存在传输速度慢,需要外加码组或字符同步措施等缺点。

如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并序传输通信方式,如图 1-7(b)所示。并行传输具有传输速度快,不需要字符同步措施等优点,但所需信道多、设备复杂、成本高、传输距离近。

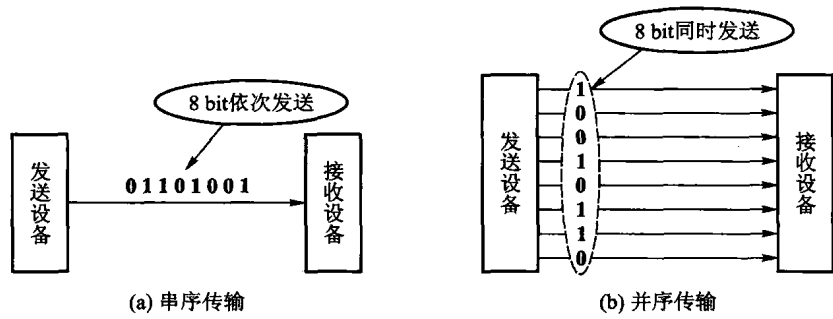


图 1-7 串序和并序传输方式

3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为点对点的直通方式和采用交换等方式的网通信,分别如图 1-8(a)、(b)所示。

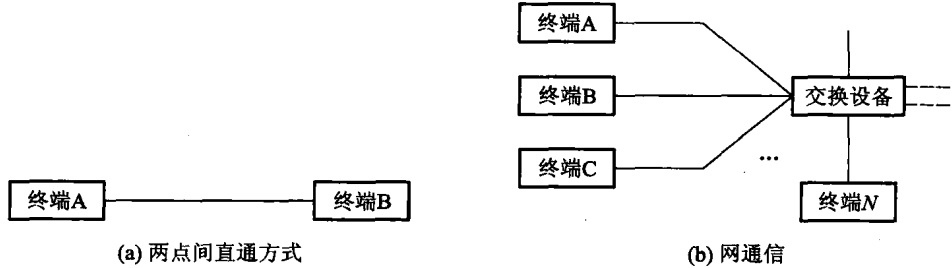


图 1-8 按网络形式划分的通信方式