

高职高专 电子信息专业教材

通信原理

沈保锁 苗长云 窦晋江 刘 松 厉彦峰 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专电子信息专业教材

通信原理

沈保锁 苗长云 窦晋江 刘 松 厉彦峰 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

通信原理 / 沈保锁等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.4 (2009.6 重印)

高职高专电子信息专业教材

ISBN 978-7-115-14351-8

I. 通... II. 沈... III. 通信理论—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 016608 号

内 容 提 要

本书是针对高等职业教育的特点, 结合高职学生的特点和多年来高职教育的实践经验编写而成的。全书共分为 9 章, 第 1 章绪论; 第 2 章信号分析及信道; 第 3 章模拟调制系统; 第 4 章模拟信号的编码传输; 第 5 章数字信号的基带传输系统; 第 6 章数字调制系统; 第 7 章信道复用和多址方式; 第 8 章同步原理; 第 9 章差错控制编码。在编写上力求通俗易懂、简化数学推导过程、适当增加例题和习题练习, 适当淡化理论, 强调应用。使学生通过学习本课程, 掌握通信原理在编码、传输、调制及信道等方面的基本理论分析方法, 为学好通信专业课程打好理论基础。

本书的特点是系统性强, 内容编排连贯, 突出基本概念、基本原理, 减少不必要的数学推导和计算, 各章均有小结及习题。

本书可以作为通信、电子信息、电子工程、自动化、计算机等专业高职高专、函授和成人教育的教材, 也可供有关专业技术人员参考。

高职高专电子信息专业教材

通 信 原 理

◆ 编 著 沈保锁 苗长云 窦晋江 刘 松 厉彦峰
责任编辑 王小明

◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京华正印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.5
字数: 321 千字 2006 年 4 月第 1 版
印数: 12 001—14 500 册 2009 年 6 月北京第 9 次印刷

ISBN 978-7-115-14351-8/TN

定价: 21.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

丛 书 前 言

随着我国教育事业发展的不断深入,高等职业教育应运而生,并得到迅猛地发展。为了深化职业教育的改革,完善职业教育体系,培养 21 世纪专业应用型人才,急需编写一批适应高职高专教育特色的教材。按照教育部 2004 年底颁布的《普通高等学校高职高专教育指导性专业目录》对高职高专教材编写的要求,人民邮电出版社与天津通信学会高等教育工作委员会共同策划、组织天津市有关高职高专院校的多年来从事第一线教学的骨干教师,编写了这套《高职高专电子信息专业教材》。

本套教材根据高职高专学生的培养目标,着重强调培养学生的基本技能,强化学生的实践能力和动手能力,突出理论联系实际。按照高职高专教学的要求,本套教材在编写时加强了基本概念的讲授,使学生能够运用所学的基本知识分析和解决问题。教材中还适当介绍了一些新技术、新器件和新的实验方法,目的是扩大学生的知识面,培养学生的创新意识。

本套教材根据高职高专学生的特点,在内容安排上力求做到精简内容,突出重点;尽量采用学生易于接受的方法进行编写。教材中的知识点由浅入深,循序渐进;理论性较强的内容尽可能采用图解分析或例题分析的方法。此外,在教材中还编写了较多的例题、思考题与习题,以便学生能够系统地掌握所学的基础理论知识。

本套教材在编写过程中得到天津通信学会高等教育工作委员会领导和天津市有关高职高专院校的大力支持,在此表示衷心的感谢。

目前,本套教材的编写还处于起步阶段,由于缺乏实际的编写经验,在教材的选材和编写过程中难免存在各种问题,衷心希望选用这套教材的院校师生提出批评指正,以便进一步改进这套教材内容,使之更加符合高职高专院校电子信息专业教学的实际要求。

前 言

为满足全国高等职业院校计算机及电子信息类专业教学的要求,加快我国应用型人才培养的步伐,人民邮电出版社与天津市通信学会高等教育工作委员会共同策划、出版了这套《高职高专电子信息专业教材》丛书,《通信原理》就是这套丛书中的一本。

本教材系统地介绍了通信系统的基本原理,以数字通信系统为主线,按系统的原理框架分章讲解,重点放在与通信系统有关的基本理论和基本方法上,考虑到内容的实用性和系统性,该教材对模拟通信的相关内容也作了介绍。为了使通信的基本原理与实际的通信电路相结合,在侧重讲授通信基本原理的基础上,本书还介绍了部分常用的通信电路芯片。为跟踪当前通信发展趋势,适当介绍了通信领域的新技术和新的发展方向。

根据高职高专院校的特点,本教材注重实践能力的培养,培养学生独立分析问题、解决问题和设计创新的能力。教材中强调加强基本概念掌握,加强基本运算和分析问题、解决问题方法的训练。内容力求简练,重点突出,深入浅出,通俗易懂。

根据高职高专教学大纲要求,作者根据多年教学实践经验编写本书。

本书共9章,第1章主要介绍通信的基本概念、通信系统模型及性能指标;第2章主要讨论确知信号和随机信号的理论分析、信息的度量、信道性能和容量、噪声;第3章主要介绍了模拟调制系统的调制方法及其抗噪性能;第4章着重介绍了几种主要的模拟信号的数字编码方法,并分析了其性能;第5章主要介绍数字信号的基带传输的特性;第6章主要介绍数字信号的基本调制系统性能,并介绍部分现代数字调制系统;第7章分别介绍了目前广泛采用的几种信道复用和多址方式;第8章着重分析了载波同步、位同步、帧同步及网同步的实现方法;第9章内容包括差错控制的基本原理、常用几种检错码、线性分组码、循环码和卷积码。为了便于读者理解和复习,每章后面均附有习题。

本书由天津大学沈保锁教授任主编,并编写第3、7、8章;天津工业大学苗长云教授、厉彦峰老师编写了第1、2、9章和7章的部分内容;天津电子信息职业技术学院刘松副教授编写第4章,天津理工大学窦晋江副教授编写第5、6章。沈保锁教授负责全书的统稿工作。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,书中难免存在问题或错误,敬请各位读者批评指正。

编 者
2006.3

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信的概念及系统模型	1
1.1.1 通信的概念	1
1.1.2 通信系统模型	1
1.1.3 模拟通信和数字通信系统模型	2
1.2 通信的发展过程	3
1.3 通信系统的分类及通信方式	4
1.3.1 通信系统的分类	4
1.3.2 通信方式	5
1.4 通信系统的主要性能指标	6
1.4.1 模拟通信系统的性能指标	7
1.4.2 数字通信系统的性能指标	7
习题	8
第 2 章 信号分析及信道	10
2.1 信号分析	10
2.1.1 确知信号分析	10
2.1.2 信号的能量和功率	15
2.1.3 帕塞瓦尔 (Parseval) 定理	15
2.1.4 能量谱密度和功率谱密度	16
2.1.5 卷积的定义与性质	16
2.1.6 波形的互相关与自相关	17
2.2 随机信号分析	19
2.2.1 随机过程	19
2.2.2 随机过程的统计特性	20
2.2.3 随机过程的数字特征	20
2.2.4 平稳随机过程的定义	21
2.2.5 平稳随机过程的各态历经性	21
2.2.6 随机信号通过线性系统	22
2.2.7 平稳随机过程通过乘法器	23
2.3 信息及其度量	24
2.4 信道与噪声	26
2.4.1 信道定义及其数学模型	26

2.4.2	高斯白噪声	27
2.4.3	窄带高斯噪声	28
2.5	信道容量	29
	习题	30
第3章	模拟调制系统	32
3.1	幅度调制系统	32
3.1.1	标准调幅 (AM)	32
3.1.2	抑制载波双边带 (DSB) 调幅	34
3.1.3	单边带 (SSB) 调幅	35
3.1.4	残留边带 (VSB) 调幅	37
3.2	调幅系统的解调	37
3.3	频率调制系统的调制与解调	39
3.3.1	角度调制的基本概念	39
3.3.2	窄带调频 (NBFM)	40
3.3.3	宽带调频 (WBFM)	42
3.4	模拟调制系统的抗噪声性能	46
3.4.1	各种调幅系统相干解调的抗噪声性能	47
3.4.2	调频系统的抗噪声性能	49
3.4.3	调频系统的专用芯片	52
	习题	53
第4章	模拟信号的编码传输	55
4.1	抽样定理	55
4.2	脉冲编码调制 (PCM)	57
4.2.1	量化	58
4.2.2	编码与解码	63
4.2.3	PCM 系统的噪声性能	66
4.2.4	PCM 编解码器芯片	67
4.3	增量调制 (ΔM)	68
4.3.1	增量调制的基本原理	68
4.3.2	量化噪声和过载噪声	70
4.3.3	增量调制系统的抗噪声性能	72
4.3.4	PCM 和 ΔM 的性能比较	72
4.4	Δ - ΣM 、DPCM 和数字音节压扩系统	73
4.4.1	总和增量调制 (Δ - ΣM)	73
4.4.2	数字压扩自适应增量调制	75
4.4.3	差分脉冲编码调制 (DPCM)	76
4.4.4	增量调制解调器芯片	76

4.5	语音与图像压缩编码简介	77
4.5.1	语音压缩编码简介	78
4.5.2	图像压缩编码简介	79
	习题	81
第5章	数字信号的基带传输系统	84
5.1	常用码型	84
5.2	数字基带信号的频谱分析	89
5.3	基带传输中的码间串扰与无码间串扰的基带传输	91
5.3.1	数字基带信号传输系统模型	91
5.3.2	基带传输中的码间串扰	92
5.3.3	无码间串扰的基带传输特性	93
5.3.4	无码间串扰的理想低通滤波器	94
5.3.5	无码间串扰的滚降系统	95
5.4	部分响应系统	97
5.4.1	第 I 类部分响应	98
5.4.2	差错传播和预编码	98
5.4.3	第 IV 类部分响应波形	100
5.5	基带传输系统的抗噪声性能	101
5.6	眼图	102
5.7	均衡	103
5.7.1	时域均衡器的基本工作原理	104
5.7.2	举例	105
5.8	扰码与解扰	106
	习题	107
第6章	数字调制系统	110
6.1	二进制数字调制原理	110
6.1.1	调制	110
6.1.2	解调	113
6.2	二进制数字调制信号的频谱特性	117
6.2.1	ASK 信号的功率谱	117
6.2.2	FSK 信号的功率谱	118
6.2.3	PSK 信号的功率谱	118
6.3	二进制数字载波传输系统的抗噪声性能	119
6.4	二进制数字调制系统的性能比较	120
6.5	多进制数字调制系统	120
6.5.1	MASK 调制原理	120
6.5.2	MFSK 调制原理	122

6.5.3	MPSK 调制原理	123
6.5.4	M 进制数字调制系统的抗噪声性能	126
6.6	现代数字调制技术	126
6.6.1	正交幅度调制 QAM	127
6.6.2	偏移四相相移键控 OQPSK (Offset Quadri-Phase Shift Keying)	128
6.6.3	$\pi/4$ -QPSK	129
6.6.4	最小频移键控 MSK	130
6.6.5	其他恒包络调制	133
6.6.6	扩展频谱通信	136
	习题	138
第 7 章	信道复用和多址方式	140
7.1	引言	140
7.2	频分复用 (FDM)	140
7.3	时分复用 (TDM)	142
7.3.1	时分复用原理	142
7.3.2	时分复用所需的信道带宽	143
7.4	码分复用 (CDM)	144
7.4.1	基本概念	144
7.4.2	伪随机码	145
7.5	多址通信方式	149
7.5.1	频分多址 (FDMA)	149
7.5.2	时分多址 (TDMA)	150
7.5.3	码分多址 (CDMA)	152
	习题	154
第 8 章	同步原理	156
8.1	载波同步	156
8.1.1	插入导频法	156
8.1.2	非线性变换——滤波法	157
8.1.3	同相正交法 (科斯塔斯环)	158
8.2	位同步	159
8.2.1	插入导频法	159
8.2.2	自同步法	161
8.3	帧同步	163
8.3.1	起止式同步法	164
8.3.2	对帧同步系统的要求	164
8.3.3	集中插入同步法	165
8.3.4	分散插入同步法	169

8.4 网同步.....	171
习题.....	173
第9章 差错控制编码	175
9.1 纠错编码原理和方法.....	175
9.1.1 差错控制系统.....	175
9.1.2 差错控制编码的基本概念.....	176
9.2 常用的简单编码.....	177
9.2.1 奇偶监督码.....	178
9.2.2 二维奇偶监督码.....	178
9.2.3 恒比码.....	178
9.2.4 正反码.....	179
9.3 线性分组码.....	180
9.3.1 监督矩阵 H 和生成矩阵 G	180
9.3.2 错误图样 E 和校正子 S	182
9.3.3 汉明码.....	183
9.4 循环码.....	184
9.4.1 循环码的概念.....	184
9.4.2 码多项式及按模运算.....	184
9.4.3 码的生成多项式和生成矩阵.....	186
9.4.4 循环码的编码.....	188
9.4.5 循环码的解码.....	189
9.5 卷积码.....	192
9.5.1 卷积码的编码原理.....	192
9.5.2 卷积码的图解表示.....	193
9.5.3 卷积码的生成矩阵和监督矩阵.....	194
9.5.4 卷积码译码.....	198
习题.....	202
参考文献	205

第 1 章 绪 论

1.1 通信的概念及系统模型

1.1.1 通信的概念

在人类社会里，为满足生产和生活的需要，人们在进行思想感情的交流以及知识的获取等方面都离不开消息的传递。古代的烽火台、金鼓、旌旗；当今的书信、电报、电话、可视电话、电视等都是传递消息的方式。广义地说，通信就是由一地向另一地传递消息。

随着人类社会文明、科学技术的进步与发展，通信所传递的消息形式越来越多，不仅有语言、符号、文字、音乐，还包括数据、图片、图像和文本等。实现这些消息的传递可采用各种各样的通信方式，在诸多通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方式——电通信，能使消息几乎在任意通信距离上实现既迅速、有效，又准确、可靠的传递，缩短了通信双方的时间和距离的差异，因而得到了飞速发展及广泛应用。如电话、传真、可视电话、数据传输、电视、广播、雷达、遥测、遥控等均属于“电”通信方式。本书所讲的通信即为“电”通信，简称通信。

1.1.2 通信系统模型

通信是由通信系统来实现的，通信系统是指完成信息传输过程的全部设备和传输媒介，点对点通信系统的模型如图 1-1 所示。其目的是把发送端的消息送到接收端。图 1-1 中，信息源的作用是把各种可能的消息转换成原始电信号。为了使这个原始电信号适合在信道中传输，在发送端通过发送设备对其进行某种变换后送入信道。信道是指信号的传输媒介。在接收端，接收设备的功能与发送设备的功能相反，它能从接收信号中恢复出相应的原始电信号，而受信者（或信息宿）是将复原的原始电信号转换成相应的消息。图中的噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处噪声的集中表示。



图 1-1 通信系统的模型

上述通信系统的模型表示了通信系统的基本组成。根据我们所研究的对象及所涉及的问题

题不同，将会选择较具体的不同形式的通信系统模型。本书就是围绕着与通信系统模型有关的通信原理及基本理论进行讨论的。

1.1.3 模拟通信和数字通信系统模型

通信所传输的各种消息可分成两大类：一类是消息的状态是可数的或离散的消息——离散消息（或数字消息），如符号、文字和数据等；另一类是状态连续变化的消息——连续消息（或模拟消息），如连续变化的语言、图像等。

为了传递消息需将各种消息转换成电信号参数的变化。这种转换就是在消息与电信号的某一参量或几个参量间建立起一一对应的关系。若消息为离散消息，它所对应的电信号参量是离散取值的，该信号为数字信号；若消息为连续消息，它所对应的电信号参量是连续取值的，这样的信号为模拟信号。我们按信道中传输信号的特征是模拟信号和数字信号相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

应该指出，我们也可以采用数字通信系统来传递模拟信号。它是在发送端先将模拟信号变换成数字信号（A/D 转换）经数字通信系统传输后，在接收端再进行相反的转换（D/A 转换），还原出模拟信号。

模拟通信系统的模型如图 1-2 所示。其中包含两种重要的变换：一是在发送端将连续消息变换成原始电信号，或在接收端作相反变换，它是由信息源或受信者完成；另一是在发送端将原始电信号转换成其频带适合于信道传输的信号或在接收端作相反变换，即调制或解调，它们由调制器或解调器完成。经第一种变换所得到的原始电信号具有较低的频谱分量，一般不宜直接作为远距离传输信号，因此在模拟通信系统中常常需要进行第二种变换。通常我们将在发送端调制前或接收端解调后的信号称为基带信号，因此原始电信号又称基带信号，而经过调制的信号称已调信号。调制的目的主要有三方面：（1）将基带信号变换为适合于信道传输的频带信号，如在无线通信中，必须将基带信号载在高频上才能发射出去；（2）改善系统性能；（3）实现信道复用，提高信道利用率。



图 1-2 模拟通信系统模型

除了上述两个变换外，模拟通信系统中还包括滤波、放大、变频及二/四线转换（差接）等环节。本书重点介绍两个变换及反变换，其他部分的重要环节也给予重视。

从模拟通信系统模型可看出，模拟通信研究的基本问题包括：（1）收发两端的换能过程及基带信号的特性；（2）调制与解调原理；（3）信道与噪声特性及其对信号传输的影响；（4）存在噪声条件下的系统性能等。

数字通信系统的模型如图 1-3 所示。在数字通信中，必须保证接收端数字信号与发送端数字信号有一致的节拍，否则就会使收发步调不一致，而造成数据混乱，使传输出错。这个节拍被称之为同步。图 1-3 中应包含同步环节，但由于数字通信中有三种同步方式，且每种方式的位置又不是固定的，故图中没有示出。

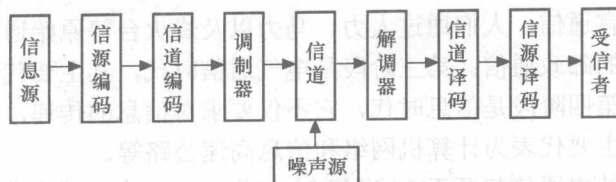


图 1-3 数字通信系统模型

编码和译码组成一对环节，编码包括信源编码和信道编码。信源编码的主要任务是提高数字信号传输的有效性，即用适当的方法降低数字信号的码元速率以压缩频带。若从信息源传来的信号是模拟信号，则先要进行 A/D 转换，信源编码的输出就是信息码。此外，信源编码还包括数据扰乱、数据加密、话音和图像压缩编码等。信道编码的主要任务是提高数字信号传输的可靠性。由于数字通信在信道传输过程中混入的噪声或干扰会造成数字信号传输的差错，需通过差错控制编码来实现差错控制，以提高系统的可靠性。

调制器与解调器构成一对环节，其作用与模拟通信系统中的调制与解调作用相同，不同的是这里的调制与解调是数字的。数字通信系统中，基带信号仍是调制器前和解调器后的信号，信道中传输的调制后的信号为已调信号。

上述所列数字通信的有些环节（如编码与译码、调制与解调）并不是必须的，它可根据不同的条件和要求决定是否采用。没有调制器与解调器环节，直接传输基带信号的数字通信系统称为数字基带传输系统。

从数字通信系统模型可看出，数字通信研究的基本问题包括：（1）收、发两端的换能过程，模拟信号数字化及数字式基带信号的特征；（2）数字调制与解调原理；（3）信道与噪声的特性及其对信号传输的影响；（4）抗干扰编码和译码，即差错控制编码；（5）通信保密；（6）同步。

目前，无论是模拟通信还是数字通信，都是已经获得广泛应用的通信方式。综合模拟通信和数字通信的各自特点，数字通信与模拟通信相比有以下优点：

（1）数字传输的抗噪声（即抗干扰）能力强，数字信号传输中可通过中继再生消除噪声的累积；

（2）数字通信可以通过差错控制编码技术，提高通信的可靠性；

（3）便于利用现代数字信号处理技术对数字信息进行处理；

（4）数字信息易于加密，且保密性强；

（5）数字通信可以传递各种消息（模拟的和离散的），使通信系统灵活性好、通用性强；

（6）数字通信采用数字集成电路，具有体积小、重量轻、可靠性高及调整调试方便的优点。

但是，数字通信与模拟通信相比较为突出的缺点是其信号占有的频带宽。如一路模拟电话仅占 4kHz 带宽，而一路数字电话要占 20~64kHz 的带宽。然而由于毫米波通信和光纤通信的出现，带宽问题得到解决，数字通信几乎成了唯一的选择。

本书以下各章将分别对上述两种通信系统中的基本问题进行较为详细的讨论。

1.2 通信的发展过程

从有了人类社会以来，按照通信交流方式与技术的不同可以将通信发展划分为四个历史

阶段。第一阶段是语言通信,人们通过人力、马力以及烽火台等原始通信手段传递消息;第二阶段是出现文字后的邮政通信;第三阶段是电气通信时代,其主要代表性的通信方式是电话、电报和广播等;第四阶段是信息时代,它不仅要求对信息的传递,还包括了对信息的存储、处理和加工,其主要代表为计算机网络和信息高速公路等。

真正有实用意义的电通信起源于19世纪30年代。1835年,莫尔斯电码出现;1837年,莫尔斯电磁式电报机出现;1866年,利用大西洋海底电缆实现了越洋电报通信;1876年,贝尔发明了电话机,开始了有线电报、电话通信,使消息传递既迅速、又准确。

19世纪末,出现了无线电报;20世纪初电子管的出现使无线电话成为可能。从20世纪60年代以来,随着晶体管、集成电路的出现和应用,无线电通信迅速发展,无线电话、广播、电视和传真通信相继发展起来。

进入20世纪80年代以来,随着人造卫星的发射,电子计算机、大规模集成电路和光纤纤维等现代化科学技术成果的问世和应用,特别是数字通信技术的飞速发展,进一步促进了微波通信、卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信等各种现代通信系统的竞相发展,不断满足人们在各个方面对通信越来越高的要求。

通信就意味着信息的传递和交换,在当代社会中,信息的交换日益频繁,随着通信技术和计算机技术的发展及它们的密切结合,已能克服空间和时间的限制,大量的、远距离的信息传递和存取已成为可能。展望未来通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向迅速发展,各种新的电信业务也应运而生,朝着信息服务多种领域广泛延伸。

人们期待着早日实现通信的最终目标,即无论何时、何地都能实现与任何人进行任何形式的信息交换——全球个人通信。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

通信系统有多种分类方法,下面介绍常见的几种通信系统的分类方法。

1. 按通信业务类型分类

根据通信业务类型的不同,通信系统可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等。由于电话通信网最为普及,因而除电话通信外的其他一些通信业务也常通过公共电话通信网进行传输,如电报通信和远距离计算机通信(数据通信)都可通过电话信道传输。现在建成的综合业务数字网(ISDN)适应于多种类型业务的信息传递。

2. 按调制方式分类

按照信道中传输的信号是否经过调制,可将通信系统分为基带传输和频带传输。基带传输是将未经调制的信号直接传输,如远距离音频电话、有线广播等;频带传输是将基带信号经调制后送入信道传输。调制方式很多,常见的调制方式及用途如表1-1所示。

3. 按信号特征分类

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可相应的把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统两类。

表 1-1 常用调制方式及用途

调制方式		用途举例
连续波调制	线性调制	振幅调制 (AM)
		广播
		单边带调制 (SSB)
		载波通信、短波无线电通信
	非线性调制	抑制载波双边带调制 (DSB)
		立体声广播
		残留边带调制 (VSB)
		电视广播、传真
	数字调制	频率调制 (FM)
		微波中继、卫星通信、广播
脉冲调制	脉冲模拟调制	相位调制 (PM)
		中间调制方式
	脉冲数字调制	幅移键控 (ASK)
		数据传输
	脉冲数字调制	频移键控 (FSK)
		数据传输
	脉冲数字调制	相移键控 PSK、DPSK 等
		数据传输、数字微波、空间通信
	脉冲数字调制	其他高效数字调制 QAM、MSK 等
		数字微波、空间通信

4. 按传输媒介分类

按传输媒介，通信系统分为有线通信和无线通信。有线通信是以传输缆线作为传输的媒介，它包括电缆通信、光纤通信等；无线通信是无线电波在自由空间传播信息，它包括微波通信、卫星通信等。

5. 按信号复用方式分类

按信号复用方式，通信系统又可分为频分复用 (FDM)、时分复用 (TDM) 和码分复用 (CDM) 等。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围；时分复用是用抽样或脉冲调制方法使不同信号占据不同的时间区间；码分复用则是用互相正交的码型来区分多路信号。

传统的模拟通信中大都采用频分复用，如广播通信。随着数字通信的发展，时分复用通信系统得到了广泛的应用。码分复用在现代通信系统中也获得广泛应用，如卫星通信系统、移动通信系统和光纤通信系统。

1.3.2 通信方式

通信系统中有多种通信方式，它可按不同的方法划分如下。

1. 按传输的方向与时间关系划分的通信方式

对于点对点的通信，按传输的方向与时间关系，通信方式可分单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

单工通信是指消息只能单方向传输的工作方式,如图 1-4 (a) 所示。例如广播、电视、遥测等都是单工通信方式。

半双工通信是指通信的双方都能收发信息,但不能同时进行收发信息的通信方式,如图 1-4 (b) 所示。例如无线电对讲机和普通无线电收发报机等是半双工通信方式。

全双工通信是指通信的双方都可同时收发信息的通信方式,如图 1-4 (c) 所示。例如普通电话、计算机网络通信等采用全双工通信方式。

2. 按数字信号码元排列方法划分的通信方式

在数字通信中按数字信号码元排列方法不同,可划分为串序传输和并序传输的通信方式。串序传输是将数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,如图 1-5 (a) 所示。例如计算机网络通信。

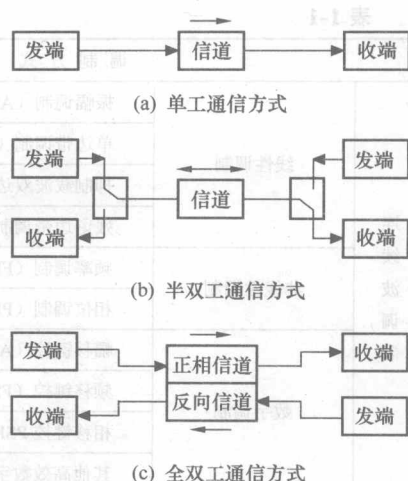


图 1-4 通信方式示意图

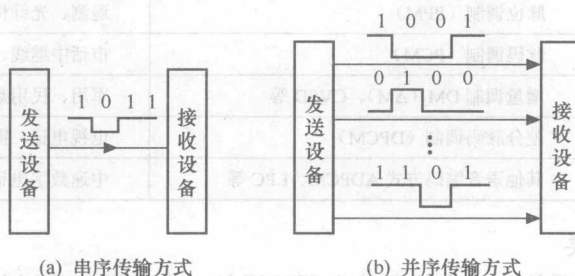


图 1-5 串序和并序传输方式

并序传输是将数字信号码元序列分割成两路或两路以上的数字信号码元序列同时在信道中传输,如图 1-5 (b) 所示。例如计算机和打印机间数据的传输。

串序传输方式只需一条通路,线路成本低,适合于长距离的通信;而并序传输方法需要多条通路,线路成本高,传输速度快,适合于短距离的通信。

3. 按照网络结构划分的通信方式

通信系统按照网络结构划分为专线和通信网两类。点对点的通信是专线通信;多点间的通信属网通信。网通信的基础仍是点对点的通信。

1.4 通信系统的主要性能指标

设计和评价一个通信系统,往往要涉及到许多性能指标,如系统的有效性、可靠性、适应性、经济性、标准性及使用维护方便性等。这些指标可从各个方面评价通信系统的性能,但从研究信息传输方面考虑,通信的有效性和可靠性是通信系统中最主要的性能指标。有效性主要是指消息传输的“速度”问题,而可靠性主要是指消息传输的“质量”问题。由香农 (Shannon) 定理可知,系统的带宽能够决定信号的极限传输速度。信号在传输过程中的噪声

干扰和信道特性不理想使信号产生畸变,造成接收信号与发送信号间出现差异,影响了通信质量。有效性和可靠性的要求是相互矛盾而又相互联系的。提高有效性会降低可靠性,反之亦然。因此在设计通信系统时,对二者应统筹考虑。

1.4.1 模拟通信系统的性能指标

在模拟通信系统中,有效性是利用消息传输速度(即单位时间内传输的信息量)或者有效传输频带来衡量。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 4kHz 带宽,而常规调幅(双边带信号)需要 8kHz 的带宽,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,显然,单边带系统的有效性比常规调幅系统要好。

模拟通信系统的可靠性用接收端最终输出的信噪比(即输出信号平均功率与噪声平均功率的比值)来衡量,如通常电话要求信噪比为 20~40dB,电视则要求 40dB 以上。输出信噪比越高,通信质量越好,它除了与信号功率和噪声功率的大小有关外,还与信号的调制方式有关。如调频信号的抗噪声性能(输出信噪比/输入信噪比)比调幅信号好,但调频信号所需传输频带要宽于调幅信号。

1.4.2 数字通信系统的性能指标

在数字通信系统中,常常用相同的时间间隔去表示一个 N 进制信号,每个间隔的信号都是一个码元,而这个间隔就是码元宽度。对于 N 进制通信系统的每个 N 进制信号都是一个 N 进制码元,每个码元都有 N 种可能的符号可采用。二进制通信系统中的每个二进制信号都是二进制码元 0 或 1。下面讨论数字通信系统的有效性和可靠性问题。

1. 数字通信系统的有效性

数字通信系统的有效性可用码元速率、信息速率及系统带宽利用率这三个性能指标来描述。

(1) 码元速率 R_{B_N}

码元速率 R_{B_N} 又称码元传输速率或传码率。它被定义为每秒所传送的码元数目,单位为“波特”,常用符号 Baud 表示。

(2) 信息速率 R_b

信息速率 R_b 又称信息传输速率或传信率。它被定义为每秒所传输的信息量,单位为“比特/秒”,或记为 bit/s。

由于每位二进制数都包含有 1 比特的信息量,因此信息速率也就是每秒传输的二进制码元数。对于二进制码元的传输,码元速率与信息速率相等即 $R_{B_2} = R_b$; 而对于 N 进制码元的传输来说,由于每一位 N 进制码元可用 $\log_2 N$ ($N=2^K$, K 为每位 N 进制码元所用二进制码元表示的位数) 个二进制码元表示,传输一个 N 进制码元相当于传输了 $\log_2 N$ 个二进制码元,因此信息速率与码元速率的关系是

$$R_b = R_{B_N} \log_2 N \quad (\text{bit/s}) \quad (1-1)$$