



普通高等院校“十二五”规划教材

通信原理与系统

Communication theory and systems

徐 祎 杨晓静 金虎 王懋 编著

免费索取课件及习题答案

E-mail: just4xin@yahoo.com.cn



国防工业出版社

National Defense Industry Press

通信原理与系统

徐 祎 杨晓静 金 虎 王 懋 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书分为通信原理与通信系统两部分,共13章。通信原理部分:绪论、模拟调制系统、模拟信号数字化、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、多路复用与同步技术、差错控制和扩频通信系统;通信系统部分:短波通信系统、微波与卫星通信系统、通信网、移动通信和军事通信。通信原理部分以数字通信为主;通信系统部分主要为无线通信系统。

本书中的对流层散射通信、流星余迹通信,空中平台通信、平流层通信、军事通信网和数据链等内容,是同类或相近教材中较少甚至没有的内容,对全面了解、学习无线通信系统的基本原理和应用技术具有帮助。

本书可作为通信和电子信息等专业本科生教材,也可作为从事通信相关专业、特别是无线通信专业的工程技术人员以及有关专业的高等院校师生的学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与系统/徐祎等编著. —北京:国防工业出版社,2012.9
ISBN 978-7-118-08341-5

I. ①通... II. ①徐... III. ①通信原理—高等学校—教材
②通信系统—高等学校—教材 IV. ①TN911②TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第191201号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张24½ 字数608千字

2012年9月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价53.50元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是为通信原理与通信系统本科教学而编写的教材,全书由通信原理与通信系统两大部分组成。旨在阐明通信原理的基本理论与方法,介绍通信系统的原理与技术。通信原理部分以数字通信为主;通信系统部分主要为无线通信系统。

全书共分13章。第1章绪论,介绍通信的基本概念和其所涉及的基础理论;第2章模拟调制系统,阐述模拟通信的基本原理与实现方法;第3章模拟信号数字化,讨论模拟信号数字化原理与实现过程;第4章数字信号的基带传输,论述数字通信中的基带传输原理及改进传输质量的方法;第5章数字信号的频带传输,论述数字信号调制及数字带通信号传输原理;第6章多路复用与同步技术,阐述通信中的复用原理与实现技术,同步的基本原理;第7章差错控制,差错控制基本方法、检错与纠错原理;第8章扩频通信系统,阐述扩频通信的基本原理,重点介绍直接序列扩频和跳频通信原理;第9章短波通信系统,针对短波信道的特点,论述了短波通信系统的原理与技术;第10章微波与卫星通信系统,介绍了微波中继通信基本原理与技术,卫星通信系统的基本原理与技术;第11章通信网,介绍了通信网的基本概念及基础知识;第12章移动通信,介绍了移动通信基本原理与技术;第13章军事通信,介绍了用于军事通信的特殊通信系统与技术。

为适应当前通信的发展和体现与实际的结合,突出了数字通信内容,加大了通信系统的篇幅。以理论基础为主,涵盖了现代通信的主要基本原理与技术。针对军事通信中的特殊应用,介绍了在军事通信中具有特别意义的军事通信系统与应用技术,如对流层散射通信、流星余迹通信、空中平台通信、平流层通信、军事通信网和数据链等内容。

本书由徐祎、杨晓静、金虎、王懋共同编写完成。第1、5、7、9、13章由徐祎教授编写,第2、3、4章由杨晓静副教授编写,第8、10章由金虎副教授编写,第6章由王懋讲师编写,第12章由金虎和徐祎共同完成,第11章由王懋和徐祎共同完成,全书由徐祎教授统编定稿。卢传发参加了本书初稿的编写工作,冯辉、王锐、姜丽参与了本书部分章节内容的编写、文字录入与插图的绘制。杨俊安教授、崔琛教授审阅了本书初稿,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。

解放军理工大学张邦宁教授审阅了全书的书稿,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

本书编写中,广泛参考了国内外相关文献资料,吸取了其中的学术、研究成果和编写经验。由于排版要求,书后未能全部列出,只列出了主要的参考文献。在此,对本书参考到的书籍、文献资料的所有专家、学者及作者表示感谢。

感谢国防工业出版社对本书的出版给予的支持与帮助。

由于编著者的水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正

编著者

2012年8月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 通信基本概念	1
1.1.1 通信系统模型	1
1.1.2 模拟通信与数字通信	2
1.1.3 通信方式与通信系统分类	4
1.1.4 信息及其度量	8
1.1.5 主要性能指标	10
1.2 确知信号分析	12
1.2.1 时域	12
1.2.2 频域	16
1.2.3 能量谱与功率谱	19
1.2.4 线性系统响应	20
1.3 随机信号分析	22
1.3.1 随机过程表述	23
1.3.2 平稳随机过程	24
1.3.3 窄带随机过程	29
1.3.4 随机过程通过线性系统	32
1.4 信道与噪声	33
1.4.1 信道模型	33
1.4.2 信道特性及对信号传输影响	36
1.4.3 噪声	40
1.4.4 信道容量	43
1.4.5 传输介质	45
习题	48
第2章 模拟调制系统	49
2.1 线性调制系统基本原理	49
2.1.1 调幅(AM)	50
2.1.2 双边带调制(DSB)	51
2.1.3 单边带调制(SSB)	52
2.1.4 残留边带调制(VSB)	54
2.1.5 线性调制系统的解调	55
2.2 线性调制系统抗噪声性能	57
2.2.1 抗噪声性能分析模型	57
2.2.2 相干解调抗噪声性能	58

2.2.3	非相干解调抗噪声性能	61
2.3	非线性调制与解调	63
2.3.1	非线性(角度)调制基本原理	63
2.3.2	窄带调频	66
2.3.3	宽带调频	67
2.3.4	调频信号的产生与解调	69
2.4	频率调制系统抗噪声性能	71
2.4.1	大信噪比条件下输出信噪比	71
2.4.2	小信噪比条件下输出信噪比	73
2.4.3	预加重和去加重	74
2.5	各种调制系统抗噪声性能比较	75
	习题	75
第3章	模拟信号数字化	77
3.1	抽样与脉冲模拟调制	78
3.1.1	抽样定理	78
3.1.2	脉冲振幅调制(PAM)	81
3.2	抽样信号的量化	84
3.2.1	均匀量化	85
3.2.2	非均匀量化	87
3.3	脉冲编码调制(PCM)	89
3.3.1	常用二进制码	89
3.3.2	A律13折线编码	90
3.3.3	μ 律15折线编码	94
3.3.4	PCM信号的码元速率	95
3.3.5	PCM系统中噪声的影响	96
3.4	差分脉冲编码调制(DPCM)	96
3.4.1	预测编码原理	96
3.4.2	DPCM编译码原理	97
3.4.3	DPCM性能	99
3.5	增量调制(ΔM)	100
3.5.1	增量调制基本原理	100
3.5.2	量化噪声	101
3.5.3	自适应增量调制(A ΔM)	104
	习题	105
第4章	数字信号的基带传输	107
4.1	数字基带信号及频谱	108
4.1.1	数字基带信号	108
4.1.2	基带信号频谱	109
4.2	数字基带传输常用码型	113
4.2.1	传输码型选择原则	114
4.2.2	几种常见的码型	114

4.3	数字基带传输与码间串扰	116
4.3.1	基带传输系统与码间串扰	116
4.3.2	无码间串扰条件	118
4.3.3	无码间串扰传输特性的设计	119
4.4	噪声对基带传输性能的影响	122
4.4.1	单极性基带传输系统	122
4.4.2	双极性基带传输系统	123
4.5	部分响应系统与时域均衡	124
4.5.1	部分响应系统	124
4.5.2	时域均衡	130
4.6	眼图	132
	习题	134
第5章	数字信号的频带传输	136
5.1	二进制数字调制系统	136
5.1.1	二进制振幅键控(2ASK)	136
5.1.2	二进制频移键控(2FSK)	138
5.1.3	二进制相移键控(2PSK、2DPSK)	140
5.2	二进制数字调制系统的抗噪声性能	145
5.2.1	2ASK 系统的抗噪声性能	145
5.2.2	2PSK、2DPSK 系统的抗噪声性能	148
5.2.3	2FSK 系统的抗噪声性能	150
5.2.4	二进制数字调制系统的性能比较	151
5.3	多进制数字调制系统	153
5.3.1	多进制振幅键控 MASK 系统	153
5.3.2	多进制频移键控 MFSK 系统	154
5.3.3	多进制相移键控 MPSK 系统	155
5.4	现代数字调制技术	159
5.4.1	正交振幅调制(QAM)	159
5.4.2	最小频移键控(MSK)	161
5.4.3	正交频分复用(OFDM)	164
	习题	166
第6章	多路复用与同步技术	167
6.1	信道复用技术	167
6.1.1	频分复用	167
6.1.2	时分复用	169
6.1.3	码分复用	172
6.2	数字复接	173
6.2.1	准同步数字序列 PDH	174
6.2.2	同步数字序列 SDH	176
6.3	同步技术	179
6.3.1	同步技术分类	179

6.3.2	载波同步	180
6.3.3	位同步	183
6.3.4	群同步(帧同步)	185
习题		187
第7章	差错控制	188
7.1	差错控制方式	188
7.1.1	检错重发	188
7.1.2	前向纠错	191
7.1.3	混合纠错	192
7.2	检错与纠错原理	192
7.2.1	差错类型	192
7.2.2	冗余与噪声均化	194
7.2.3	检错与纠错编码原理	194
7.2.4	编码基本概念	195
7.3	常用差错控制编码	196
7.3.1	简单检错编码	196
7.3.2	汉明码	197
7.3.3	CRC	200
7.3.4	交织	203
习题		204
第8章	扩频通信系统	205
8.1	扩频通信概述	205
8.1.1	扩频通信理论基础	205
8.1.2	典型扩频通信系统	209
8.1.3	处理增益与干扰容限	211
8.1.4	扩频通信特点	212
8.2	伪随机序列	213
8.2.1	伪随机码的基本概念	214
8.2.2	m 序列	215
8.2.3	其他码序列	218
8.3	直接序列扩频(DS)	219
8.3.1	基本原理	219
8.3.2	DS 信号产生	220
8.3.3	解扩与解调	221
8.3.4	DS 系统的抗干扰性能	223
8.3.5	DS 系统的同步	226
8.4	跳频(FH)	227
8.4.1	基本原理	227
8.4.2	跳频图案设计	228
8.4.3	跳频信号的产生	230
8.4.4	解跳与解调	232

8.4.5	FH 系统抗干扰性能	233
8.4.6	FH 系统的同步和组网	234
习题		235
第 9 章	短波通信系统	237
9.1	短波信道	237
9.1.1	短波电波的传播	237
9.1.2	短波信道特性	238
9.1.3	短波无线电干扰与噪声	242
9.1.4	抗干扰途径	243
9.2	短波自适应技术	243
9.2.1	自适应通信概念	243
9.2.2	实时信道估值技术	244
9.2.3	短波自适应通信系统	247
9.3	分集接收	248
9.3.1	分集方式	248
9.3.2	合并方式	251
9.3.3	分集对性能的改善	253
9.4	短波模拟通信与单边带	255
9.4.1	短波常用模拟调制方式	255
9.4.2	单边带信号的产生	256
9.4.3	单边带通信系统	257
9.5	短波数据通信与时频调制	258
9.5.1	短波数据传输特点	258
9.5.2	时频调制	260
9.5.3	时频调制的最佳接收	261
9.5.4	时频调制性能特点	263
9.6	短波高速数据传输	263
9.6.1	多音并行调制解调	263
9.6.2	单音串行调制解调	264
习题		265
第 10 章	微波与卫星通信系统	266
10.1	微波传播通道	267
10.1.1	视距传播特性	267
10.1.2	微波中继信道的传输损耗	268
10.1.3	衰落与电平储备	269
10.2	卫星通信的电波传播特性	270
10.3	微波与卫星通信体制	271
10.3.1	信号传输方式与复用方式	272
10.3.2	调制方式	272
10.3.3	编码技术	273
10.4	微波中继通信	274

10.4.1	数字微波通信系统	274
10.4.2	微波通信的频率配置	275
10.4.3	数字微波系统设备	276
10.4.4	微波通信中继线路设计	280
10.5	卫星通信系统	283
10.5.1	轨道与频段	283
10.5.2	通信卫星	285
10.5.3	地球站	288
10.5.4	卫星通信中的多址技术	289
10.5.5	卫星通信线路设计	294
习题		297
第 11 章	通信网	299
11.1	基本概念	299
11.1.1	网络组成与结构	299
11.1.2	协议和标准	302
11.1.3	开放系统互连参考模型	303
11.2	电话网	304
11.2.1	电路交换	304
11.2.2	信令	307
11.2.3	网络结构与路由	310
11.3	数据网	311
11.3.1	高级数据链路控制	311
11.3.2	局域网	312
11.3.3	分组交换	315
11.3.4	帧中继	319
11.4	综合业务数字网	319
11.4.1	N-ISDN	320
11.4.2	B-ISDN	322
11.4.3	异步传输模式 ATM	323
习题		327
第 12 章	移动通信	328
12.1	移动通信基本概念	328
12.1.1	移动通信的主要特点	328
12.1.2	移动通信系统分类	328
12.1.3	常用移动通信系统	329
12.1.4	移动通信中的电波传播特性	331
12.2	移动通信基本技术	332
12.2.1	调制解调技术	332
12.2.2	抗衰落与抗干扰措施	333
12.2.3	多址方式	334
12.2.4	网络规划与运行	336

12.3	GSM 蜂窝移动通信	338
12.3.1	GSM 业务	339
12.3.2	GSM 网络结构与接口	339
12.3.3	GSM 基本业务流程	340
12.3.4	通用分组无线业务 GPRS	341
12.4	CDMA 移动通信	343
12.4.1	CDMA 概念	344
12.4.2	CDMA 网络结构及信道类型	344
12.4.3	CDMA 中的关键技术	345
12.4.4	CDMA 移动性管理及呼叫	347
12.5	第三代移动通信	348
12.5.1	3G 概念	348
12.5.2	3G 的标准化	349
12.5.3	3G 关键技术	350
习题		351
第 13 章	军事通信	352
13.1	散射通信	352
13.1.1	对流层散射传播	352
13.1.2	对流层散射通信	355
13.1.3	流星余迹通信	358
13.1.4	电离层散射通信	362
13.2	空中平台通信	363
13.2.1	近地空间平台通信	364
13.2.2	平流层通信	365
13.3	军事通信网	368
13.3.1	基本概念	368
13.3.2	战斗网无线电	369
13.3.3	地域通信网	370
13.3.4	战术互联网	373
13.4	数据链	375
13.4.1	数据链概念	375
13.4.2	数据链参考模型	377
13.4.3	常用战术数据链	377
13.4.4	通用宽带数据链	379
13.4.5	专用战术数据链	380
习题		381
参考文献		382

第1章 绪 论

通信就是消息的传递，将消息借助于某种形式的信号由一地传送到另一地。当所传送的信号是电信号时，就称为电通信。由于电通信几乎可在任意通信距离上实现迅速、有效、准确、可靠的消息传递，并且其他形式的信号可以很方便地转换成电信号，所以在现代通信中广泛采用电通信。本书中的通信特指电通信。

1.1 通信基本概念

实现消息传递所需的一切技术设备、传输媒质和通信协议的总和称为通信系统。广义上讲，通信系统涵盖全球通信网络、地球通信卫星、陆地微波传输系统以及个人计算机内置的调制解调器等。一个通信系统涉及的设备可能非常多，会拥有成千上万的用户终端，并且在通信系统的不同环节，传输的信号、传输媒质等都可能有所不同。不论通信系统有多么复杂、设备量和用户终端有多少，从两个用户之间的一次通信过程来看，通信系统可视为一个简单的点到点之间的通信。点与点之间建立的通信是通信的最基本形式，也是分析研究复杂通信系统的基础。

1.1.1 通信系统模型

对于电通信来说，实现一次基本的点到点通信，首先要把消息转换成电信号，然后经过发送设备将信号送入信道，经信道传输后，在接收端利用接收设备接收信号，并将其转换为原来的消息。图 1-1 所示的通信系统一般模型概括了这一过程。

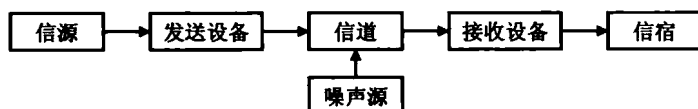


图 1-1 通信系统一般模型

信源是消息的产生地，它的主要作用是将消息转换成相应的电信号。消息表达的形式多种多样，如语音、文字、图像、数据等。通过信源，将各种形式的消息转换成电信号。例如：通过传声器将声音转换为音频电信号；通过摄像机将图像转换成视频电信号；文字、数据等离散消息源，通过如电传机、计算机等数字终端转换成电信号。这种直接由消息转换得到的电信号通常称作基带信号，也称原始电信号。基带信号的一个很重要的特点是含有低频分量，即不论基带信号的最高频率如何，它都含有低频分量。如语音信号的频率范围主要为 100Hz~3000Hz，电视图像信号的频率在 0~6MHz 范围以内，所以，这种信号又称为低通信号。

发送设备产生在信道中传输的信号。基带信号一般不适合直接在信道中传输，发送设备

的作用是对原始电信号进行各种处理和变换，把它变换成适合信道传输的信号。如放大、滤波、编码、调制等。

信道是信号传输的通道，就是在发送设备和接收设备之间用于传输信号的传输媒质。对于无线通信系统信道就是大气空间，有线通信系统的常用信道有电缆、光纤等。

噪声源是通信系统中各环节中所有噪声来源的集中等效模型。在对信号传输和变换过程的同时，通信系统中的各个部分或多或少地都会产生干扰和噪声，其中信道是噪声的主要来源。在通信系统的一般模型中，把整个通信系统中的所有噪声来源等效为一个从信道加入的噪声源。

接收设备用于接收信号。经过信道传输后的信号，不仅信号能量受到衰减，同时会叠加有干扰和噪声，接收设备的作用就是在混有干扰和噪声的接收端提取经传输后衰减了的通信信号，并还原其为原始电信号。接收是发送的逆变换。

信宿是消息的目的地，它的作用是把接收设备恢复出来的原始电信号转换成相应的消息。如通过扬声器将语音信号转换成声音、通过荧光屏将电视信号转换成电视图像等。最终接收消息的可能是人，也可能是设备。

1.1.2 模拟通信与数字通信

消息的形式是多种多样的，它可以是语言、图像、文字、数据等。所有不同形式的消息，可归结为两大类：一类称作连续消息，一类称作离散消息。连续消息的状态是连续变化的，如连续变化的语音、图像等。连续消息也称为模拟消息。离散消息指消息的状态是可数的或离散型的，比如文字、数据等。离散消息也称为数字消息。

通信中的信号有连续信号与离散信号之分、模拟信号和数字信号之分。连续信号在时间上是连续的，其幅值可以是连续的，也可以是离散的；离散信号在时间上是离散的，只是一些离散的時刻给出函数值，在其他时间没有定义。即连续信号与离散信号之分指时间上连续还是离散。模拟信号指信号携带消息的参量是连续的或在某个范围内取值可无穷多；数字信号的参量取值是有限的，数字信号的离散是指携带消息参量的离散。图 1-2 所示为连续信号与离散信号、模拟信号与数字信号的波形。其中图 1-2(a)中的脉冲幅度调制(PAM)信号在时间上是离散的，所以它是离散信号，但其每个脉冲幅度的取值可为无穷多，它又是模拟信号。图 1-2(b)中的相移键控(PSK)信号在时间上是连续的，所以它是连续信号，但其信号正弦波形的状态只取有限的两个状态，0 相位或 π 相位，它又是数字信号。

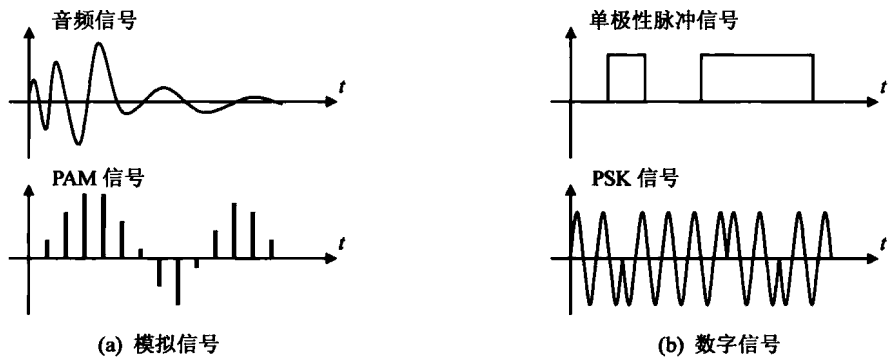


图 1-2 通信信号波形

根据信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

1. 模拟通信系统模型

模拟通信系统模型如图 1-3 所示。在模拟通信系统中需要两种重要的变换，首先模拟信源，将连续消息变换成基带信号，在接收端由信宿将基带信号反变换回原来的连续消息。由于模拟基带信号具有很低的频率分量，一般不适宜在信道中直接传输，更无法在无线信道中直接传输。在模拟通信系统中通过调制将基带信号变换成其适合在信道传输的信号，并在接收端通过解调器进行反变换还原基带信号。经过调制后的信号称为已调信号。已调信号具有 3 个基本特征：一是携带有消息，二是适合在信道中传输，三是信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频，因而已调信号又称频带信号。

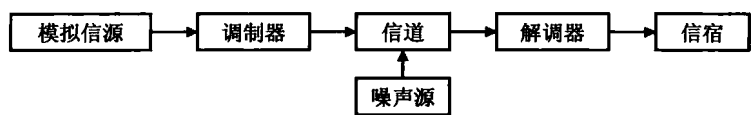


图 1-3 模拟通信系统模型

除了调制/解调以外，在模拟通信系统中，还有放大、滤波、变频等部分。由于通信系统的性能主要受调制/解调影响，而其他主要起改善信号特性作用，所以在通信模型中只考虑调制/解调，而对于放大、滤波、变频等部分视为理想则不予讨论。

2. 数字通信系统模型

图 1-4 所示为数字通信系统模型，数字通信系统的组成较模拟通信系统多出了信源、信道编译码器。由于数字信号的特点，数字信源产生的数字基带信号具有一定的冗余性。为了提高系统的效能，通过采用信源编码来降低信源代码的冗余，提高系统的信息传输能力。此外，对模拟信号的数字化也可归为信源编码。数字信号由有限的不同信号状态的组合来表示信息，信号在传输过程中由干扰或噪声引起的任何信号状态的改变都会产生信息传输的差错。信道编码的目的就是提高数字信号的抗干扰能力以及对信道的适应能力。也就是说，数字通信系统中的信源编码用来提高信息传输的有效性，信道编码用来增强信息传输的可靠性。

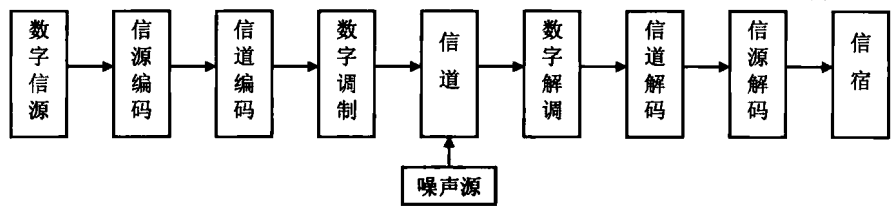


图 1-4 数字通信系统模型

与模拟通信系统一样，数字通信系统中调制/解调的作用也是使信号适合在信道中传输。从本质上讲，数字通信系统中的数字调制和模拟通信系统中的模拟调制是一样的，都是实现频谱搬移。但由于数字基带信号往往是二进制脉冲序列，因此数字调制多采用键控方法。需要指出的是，在数字通信中调制不是必须，在有线信道中数字基带信号也可直接进行传输。

此外，在数字通信系统中需要同步来保持收发两端信号在时序上的协调一致，同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提条件。同步是数字通信系统中重要的组成部分之一，涉及系统中的各个部分。由于其分散在系统的各部分，在图 1-4 的系统模型中没有单

独画出。

3. 数字通信与模拟通信的比较

模拟通信中传输的信息是携带在传输信号的波形上的，欲要信息可靠地传输，就要求信号不失真传输；而数字通信中传输的信息是携带在传输信号波形某个参量的有限状态上，因此，在数字通信系统中，不要求信号不失真传输，只要求传输信号的参量状态不发生改变即可。因此，数字通信和模拟通信相比较，具有较多的优点，主要表现在以下几个方面：

(1) 抗噪声性能好。数字通信传送的是数字信号，数字信号携带信息的参量只有有限个取值，二进制数字信号的取值只有两个。因此，在有噪声的情况下，接收端易于识别信号，恢复信息。

(2) 易于进行差错控制。采用检错、纠错编码数字通信可在一定范围内自动发现、纠正传输中的错误，改善通信质量。由于通过编码可实现差错控制，数字通信系统比模拟通信系统实现差错控制要简便得多。

(3) 采用中继传输噪声不积累。信号经远距离传输后能量会衰减，克服信号能量衰减的一个有效方法是采用中继通信。在中继通信中，信号每传输一段到达中继站时除信号本身衰减外，还会加入噪声。在模拟通信中，中继站对信号放大的同时也放大了噪声，噪声积累的结果将严重影响通信质量。而在数字通信中，中继站可先对信号取样判别再生，而后放大再生信号，使得到达中继站之前的噪声影响被消除。因此，不论采用多少次中继，噪声的影响也不会积累。

(4) 易于进行信息加密。采用编码技术数字信息的加密比模拟信息加密要简便有效，利于信息传输的安全。

(5) 便于与计算机连接。数字通信中传输的数字信号可直接与计算机相连接，信息的处理、存储、交换等非常方便。计算机与通信的结合带来了信息技术的革命。

(6) 可实现综合业务。综合业务指可提供语音、图像、文本等多种信息的通信。将各种业务的信息转换为数字信号，在同一数字通信系统中传输，可实现一个通信系统传输不同形式信息的目的。这在模拟通信中是很难实现的。

当然，数字通信也有它的缺点，最主要的一个缺点是它要比模拟通信系统占用更宽的频带。以电话通信为例，模拟通信的最小带宽使用 4kHz 即可，而数字电话一般至少需要几十 kHz 的带宽。

实际中，模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输。数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子。同样，数字信号也可以在模拟通信系统中传输。如计算机数据可以通过模拟电话线路传输，但这时必须使用调制解调器(Modem)将数字基带信号进行正弦调制，以适应模拟信道的传输特性。

1.1.3 通信方式与通信系统分类

从不同的角度看，通信的方式很多，同理，通信系统分类的方法也很多。下面主要从实际中经常遇到的和体现通信系统工作原理特色的方面讨论通信方式与通信系统分类。

1. 通信方式

通信方式指通信双方之间的工作方式或信号传输方式。

1) 单工、半双工和全双工通信

按消息传送的方向和时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信和全双工通信。

(1) 单工通信。是指消息只能单方向传输的工作方式，如图 1-5(a)所示。例如广播电视、无线传呼、遥控遥测等，就是单工通信方式。

(2) 半双工通信。是指通信双方都能收发消息，但不能同时进行收发的工作方式，如图 1-5(b)所示。例如，使用同一载频工作的无线电对讲机就是半双工通信方式。

(3) 全双工通信。是指通信双方可同时进行收发消息的工作方式，如图 1-5(c)所示。例如电话就是全双工通信方式。

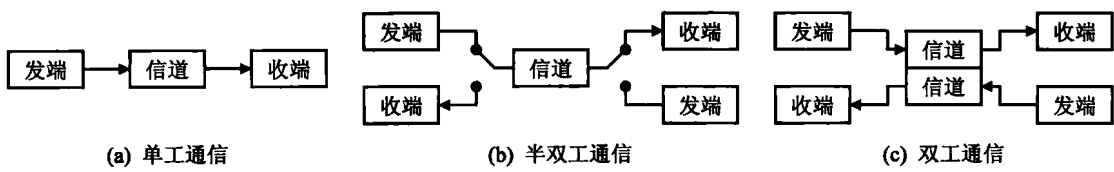


图 1-5 单工、半双工和双工通信方式示意图

2) 串行传输与并行传输

按数字信号序列排序传输的方式可分为串行传输和并行传输。

(1) 串行传输。是将数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在一条信道上传输，如图 1-6(a)所示。串行传输只需要一条通信信道，是远距离数字传输的通信方式。

(2) 并行传输。将数字信号码元序列分割成组，按组同时在多个信道上并行传输，如图 1-6(b)所示。并行传输中每组 n 个代码在 n 条信道上并行同时传输，与串行传输相比，并行传输速度快，但它需要多条信道，只适合设备间的近距离数字传输。

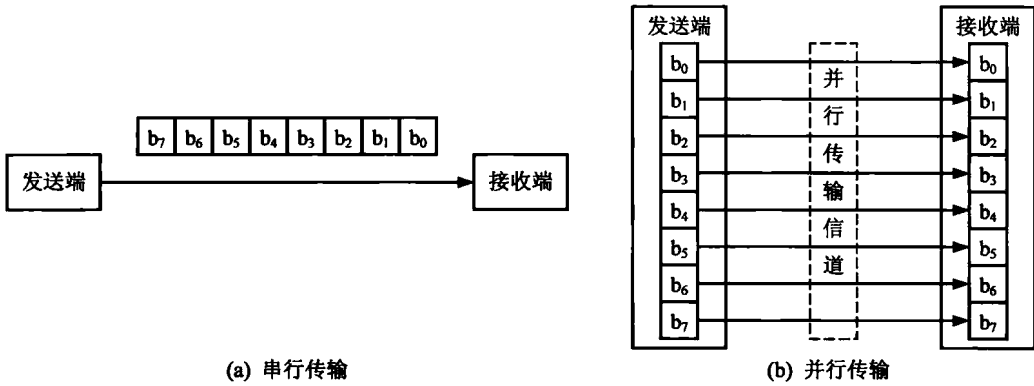


图 1-6 串行与并行传输

3) 异步传输与同步传输

表示数字信息的最基本单元是二进制代码。二进制代码以字节或字符形式来表示具有一定意义的如字母、数字、符号等信息，例如 ASCII 代码、5 单位电传电报代码等。因此，在数字信号传输时，需要知道在所传输的码序列中组成字节或字符的起始位置，即能对传输的数字信号码序列进行正确分组，称其为字节同步或字符同步，简称字同步。按数字信号传输是否需要字节或字符的同步可分为异步传输和同步传输。

异步传输时，发送端发送独立的每个字节或字符，这时没有同步时钟，接收端不能通过计时方式预测一个新的字节或字符的到达。为了通知接收端一个新的字节或字符到达，在每一个字节或字符的前面增加一位，这一位称为起始位。为了使接收端知道字节或字符已结束，

在字节或字符后面增加一个或多个位，称为停止位。使用起始位和停止位指示每一个字节或字符的开始和结束，所以每个字节或字符至少要增加 2 位或者更多的位作为提示信号。由于每个字节或字符独立发送，字节或字符之间的间隔是可变的。在字节或字符这一级，收发之间不需要进行同步，故称为异步传输方式。如图 1-7(a)所示，起始位是 0，停止位是 1，间隔用线路空闲状态表示。但要注意，异步在这里是指字节级上的异步，在字节内的各位仍然需要同步。异步传输要比没附加控制信息的传输方式运行得慢一些，但它既便宜又有效，在一些低速通信中广泛应用。例如键盘到计算机连接就采用异步传输。用户一次只会输入一个字符，输入非常慢，且每个字符之间留有不可预计的时间间隔。

同步传输以固定时钟节拍发送数字信号，连续发送由多个字节或字符组成的位流。位流组合为更长的“帧”，每帧包含了多个字节。帧内的各字节之间没有间隔，接收端需将位流分割成重构信息所需的一个个字节，如图 1-7(b)所示，图中在字节之间画出了分割线，实际中这些分割线是不存在的，发送端将一长串数据发送到信道上。由于没有字节的起始位和停止位，接收端准确复原信息完全取决于对码元准确计数的能力，计时变得非常重要。同步传输的优点是速度快，在高速通信中广泛应用，如计算机之间的数据传输。

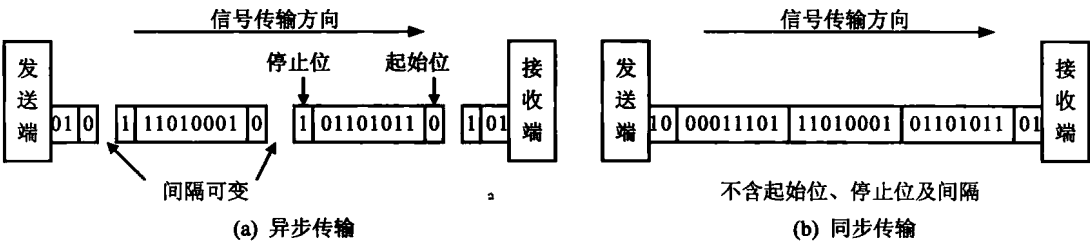


图 1-7 异步与同步传输

2. 通信系统的基本分类

前面讨论通信系统模型时，已经给出了通信系统按传输信号特征区分的两大类型，即模拟通信和数字通信，此外通信系统还有其他多种分类方法。

1) 按传输媒质分类

按传输媒质，通信系统可分为有线通信和无线通信两大类。有线通信用导线作为传输媒质，这类传输媒质可称为有向媒质、导向媒质，实际中常用的有线传输媒质有双绞线、同轴电缆、光纤等，信号沿这类介质传输，传输方向和传播范围受介质的物理边界限制。无线通信是通过电磁波在空间传播传递消息，又称为无向媒质。

2) 按传输的信号是否调制分类

根据信道中传输的信号是否经过调制，通信系统可分为基带传输系统和频带传输系统。直接传输基带信号的通信系统为基带传输系统。基带信号的特点是一定含有低频分量，所以基带传输系统需要提供一个低通信道，有线传输媒质具有低通特性可用作基带传输。而具有带通特性的无线传输媒质则不能用作基带传输，只有通过调制将基带信号变换为与传输媒质相匹配的已调信号后再传输，已调信号频谱具有带通特性。这时的传输系统称为频带传输系统，也称为带通传输系统、调制传输系统。无线传输媒质只能用作频带传输，而有线传输媒质既可用于基带传输又可用于频带传输。