

现代通信新技术

第2版

储钟圻 主编

上海高级专家协会电子电讯专业委员会 编



高等学校教材

现代通信新技术

第 2 版

上海高级专家协会电子电讯专业委员会 编

储钟圻 主编



机械工业出版社

本书概括了近年来国内外通信领域中最新技术,基本反映了当前通信发展的状况。全书共14章,内容包括:绪论、信息论浅谈、数字通信、微波通信、移动通信、卫星通信、光纤通信、信息高速公路、多媒体通信、计算机网络通信、智能建筑与智能家居、固定电话网、个人通信、通信领域新技术等。

本书在编写上力求简明扼要,深入浅出,并有一定广度。各章论述上兼顾理论的完整性和工程的实用性,有较多的插图以帮助读者对理论的理解。

本书内容新颖、资料充实,可供中等技术水平以上的广大工程技术人员学习,是掌握现代通信新技术的高级科普读物。也可作为大专院校低年级学生、通信类中等专业学校学生的教材,还可供从事相关专业的工程技术人员更新知识和领导干部决策时参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信新技术/储钟圻主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2004.1
ISBN 7-111-12889-3

I. 现... II. 储... III. 通信技术—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第070877号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国

责任编辑:牛新国 舒莹 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:陈沛 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年1月第2版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·28.75印张·710千字

15 001—19 000册

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

现代通信新技术（第2版）编委会

主任委员	陆 铭			
副主任委员	牛新国	储钟圻	严洪范	
委 员	(按姓氏笔划为序)			
	牛新国	严洪范	陆 铭	胡思明
	汤庭龙	储钟圻	薛蔚芝	
秘 书	屠基道			
主 编	储钟圻			
副 主 编	薛蔚芝			
编 写 人 员	储钟圻	胡思明	朱立伟	朱 喆
	应志君	应濛濛	薛蔚芝	沈 刚
	严 琳	严洪范	汤庭龙	

序

通信的发展，在很大程度上取决于通信手段的先进性，现代通信新技术正在迅速地改变着通信的面貌。

当今社会正在走向信息时代，通信作为社会的基础设施，越来越与人们的日常生活密切相关。20世纪90年代发展与应用的多媒体通信、互联网络、个人通信等已综合于目前国际上最热门的信息高速公路上，所以，人们必须用新的观念、新的思路、新的模式、新的设计方法去适应未来信息化社会。

为了加强通信新技术的普及教育，向广大管理干部、工程技术人员及在校师生介绍正在使用和即将使用的通信新技术，使读者能对通信领域中最新技术的面貌、关键技术、发展趋势有一个基本了解，本书重点扼要的较为通俗地作出介绍。

全书编排合理、内容新颖，是一本值得推荐的通信领域最新技术著作，它将成为广大读者的良师益友。

中国科学院资深院士
上海交通大学教授
张 煦

第 2 版 前 言

本书第 1 版出版已 5 年了，在这 5 年中，通信领域的发展非常迅速。由于现代通信涉及的面较广，第 2 版的内容亦作了相应的增加及修改，其中增加了现代通信的基础内容，如信息论、数字通信；增加并扩大了通信支柱内容，如微波通信、光纤通信、移动通信及卫星通信；增加新发展的内容，如智能家居、蓝牙技术、纳米技术等。

本书由储钟圻主编。写作分工如下：第 1、2、3、6、13、14 章储钟圻编写；第 4 章胡思明编写；第 5 章朱立伟、朱喆编写；第 7 章应志君、应濛濛编写；第 8 章薛蔚芝编写；第 9 章沈刚编写；第 10 章严琳编写；第 11 章严洪范编写；第 12 章汤庭龙编写。

本书第 5、7 章由汤庭龙审核；第 4、9、10、11 由严洪范审核；全书由储钟圻主审。

由于时间仓促和作者水平有限，难免存在错误及不妥之处，希望读者批评指正。

编 者

2003 年 6 月

目 录

序

第 2 版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 通信的基本概念	1
1.2 通信中常用名称的概念	1
1.3 通信的分类	3
1.4 通信系统的组成	4
1.5 通信系统的主要性能指标	5
1.6 信息及其度量	6
1.7 信道对传输信号的影响	8
1.8 数字信道	9
1.9 通信网的发展	9
1.10 数字通信的关键技术概要	11
第 2 章 信息论浅谈	14
2.1 引言	14
2.2 信息的概念	14
2.3 信息论研究的范畴	15
2.3.1 信息论研究的对象	15
2.3.2 信息论研究的目的	16
2.3.3 信息论研究的内容	16
2.4 信息论发展简史	16
2.5 网络信息论	17
2.6 信息论与其他学科的关系	19
2.6.1 信息熵与热力学熵	19
2.6.2 信息论与光学	20
2.6.3 信息论与生物医学	20
2.7 信源及信源熵	21
2.7.1 信源特性	21
2.7.2 信息量的定义	22
2.7.3 冗余度	22
2.7.4 信源编码	23
2.8 信道与信道容量	23
2.8.1 信道的分类	23
2.8.2 信道容量	24
2.8.3 信道编码	25
2.8.4 信道的组合	26

2.9 密码学	26
2.9.1 密码学中熵的概念	27
2.9.2 密码学的基本概念	27
2.9.3 密码系统的模型	27
2.9.4 模拟和数字信号的加密	28
2.9.5 通信网络中的加密	28
2.9.6 信息安全和认证技术	29
第 3 章 数字通信	31
3.1 概述	31
3.2 数字通信的组成	32
3.2.1 数字通信的原理	33
3.2.2 数字通信的形式	33
3.2.3 数字通信的特点	34
3.3 信源编码	34
3.3.1 信源	34
3.3.2 编码	35
3.3.3 信源编码定理	36
3.4 抽样的概念	36
3.4.1 低通型抽样定理	37
3.4.2 带通型抽样定理	38
3.5 量化的概念	38
3.5.1 量化常用的方法	38
3.5.2 均匀量化与非均匀量化	40
3.6 编码的概念	40
3.7 信道编码	41
3.7.1 信道编码的概念	42
3.7.2 信道编码的基本定理	42
3.7.3 差错控制编码	42
3.7.4 常用的差错控制编码	45
3.8 数字调制与解调	45
3.8.1 概述	45
3.8.2 幅度键控 (ASK)	47
3.8.3 2ASK 的解调	48
3.8.4 频率键控 (FSK)	49
3.8.5 2FSK 的解调	50
3.8.6 相位键控 (PSK)	51

3.8.7 2PSK 的解调	52	4.4.1 微波传播	92
3.8.8 几种二进制数字调制性能 比较	53	4.4.2 频率配置	94
3.8.9 多进制及改进型数字调制 系统	54	4.4.3 天线馈线	96
3.9 信道与噪声	55	4.4.4 公务及监控系统	97
3.9.1 概述	55	4.5 SDH 微波通信	98
3.9.2 信道的种类与模型	55	4.5.1 同步数字系列 (SDH)	98
3.9.3 有线信道	55	4.5.2 SDH 数字基带信号传输	99
3.9.4 无线信道	58	4.5.3 差错控制编码和网格编码 调制	101
3.9.5 恒参信道	61	4.5.4 SDH 常用频段的射频波道 配置	103
3.9.6 变参信道	61	4.5.5 SDH 微波通信系统的网络 管理	103
3.9.7 信道噪声	62	第 5 章 移动通信	107
3.10 定时与同步	63	5.1 移动通信发展史	107
3.10.1 定时与同步的基本概念	63	5.2 移动通信基础知识	112
3.10.2 载波同步	64	5.2.1 移动通信系统的组成	112
3.10.3 位同步	65	5.2.2 移动通信的多址技术	113
3.10.4 帧同步	65	5.2.3 移动通信系统的无线规划	116
3.10.5 数字通信网的网同步	66	5.2.4 移动通信的无线信号传播	119
3.11 数字信号的传输	66	5.2.5 移动通信系统中的干扰	121
3.11.1 数字信号的传输方式	66	5.2.6 移动台的位置登记	122
3.11.2 数字信号的基带传输	67	5.2.7 信道切换	124
3.12 通信的加密	69	5.2.8 漫游	124
3.12.1 密码体系的模型	71	5.3 第一代移动通信系统	125
3.12.2 数字加密技术	72	5.4 第二代移动通信系统	126
3.12.3 通信网的保密通信系统	73	5.4.1 GSM 移动通信系统	126
第 4 章 数字微波通信	74	5.4.2 GPRS 系统	133
4.1 概述	74	5.4.3 CDMA 移动通信系统	135
4.1.1 微波通信	74	5.5 第三代移动通信系统	140
4.1.2 数字微波通信的特点	75	5.5.1 WCDMA 移动通信系统	140
4.1.3 数字微波通信系统	76	5.5.2 cdma 2000 移动通信系统	142
4.1.4 数字信道的性能指标	77	5.5.3 TD-SCDMA 移动通信技术 概述	143
4.2 数字信号的基带传输	78	5.6 第四代移动通信的发展趋势	144
4.2.1 基带传输码型	79	第 6 章 卫星通信	146
4.2.2 基带传输系统	81	6.1 概述	146
4.2.3 基带传输特性	83	6.1.1 卫星通信的基本概念	147
4.3 数字微波传输的调制与解调 技术	85	6.1.2 卫星通信系统网的组成	147
4.3.1 二进制数字信号的调制与解调	85	6.1.3 卫星通信使用的频段与电波 传播特点	147
4.3.2 多进制数字信号的调制与解调	88	6.1.4 多址联接	149
4.3.3 多进制正交幅度调制 (MQAM)	89	6.1.5 卫星通信的特点和存在问题	150
4.3.4 各种调制方式的性能比较	91		
4.4 微波传输信道	92		

6.1.6 卫星的类型及频段划分	150	6.11.5 VSAT 网的结构	189
6.1.7 INTELSAT 系统	151	6.12 全球定位系统 (GPS)	191
6.1.8 静止卫星制	152	6.13 卫星电视	193
6.2 移动卫星通信的特性	152	6.13.1 数字卫星电视	193
6.2.1 移动卫星通信的特点	153	6.13.2 单路单载波和多路单载波	194
6.2.2 复杂的信道特性	153	6.13.3 我国数字卫星电视	195
6.3 移动卫星通信的工作频段	154	6.13.4 卫星直播 (DBS)	195
6.4 移动卫星通信系统的分类	155	第 7 章 光纤通信	197
6.4.1 按应用分类	155	7.1 概述	197
6.4.2 按技术手段分类	155	7.1.1 光纤通信技术发展	197
6.5 移动卫星通信系统的关键技术	160	7.1.2 光波基础	197
6.5.1 卫星	160	7.1.3 光与介质的相互作用	199
6.5.2 通信体制	160	7.1.4 平面介质波导	201
6.5.3 网络结构	160	7.2 光纤和光缆	203
6.5.4 入网方案的选择	161	7.2.1 光纤的结构和分类	203
6.5.5 频率选择	161	7.2.2 光纤传输原理	204
6.5.6 数字技术	161	7.2.3 光纤的传输特性	206
6.6 移动卫星通信系统的组成	162	7.2.4 新型单模光纤	208
6.7 海事移动卫星通信系统	163	7.2.5 光缆	209
6.7.1 海事移动卫星通信发展概况	163	7.3 光纤通信器件	209
6.7.2 海事移动卫星通信的组成	165	7.3.1 光源、光电检测器的物理基础	209
6.7.3 INMARSAT 的服务终端	168	7.3.2 光源器件	211
6.8 航空移动卫星通信系统	174	7.3.3 光检测器件	213
6.8.1 航空移动卫星通信的特点	174	7.3.4 光无源器件	216
6.8.2 机站	175	7.4 光纤通信系统	219
6.9 陆地移动卫星通信系统	175	7.4.1 强度调制-直接检测 (IM-DD) 系统	219
6.9.1 陆地移动卫星通信信道传输的 特点	176	7.4.2 光波分复用系统	221
6.9.2 陆地移动卫星通信系统的组 成	176	7.4.3 相干检测系统	223
6.9.3 卫星无线寻呼系统	176	第 8 章 信息高速公路	225
6.9.4 陆地移动卫星通信的实例	177	8.1 信息高速公路名称的由来	225
6.10 个人卫星通信系统	181	8.2 提出信息高速公路的内涵	225
6.10.1 30/20GHz 个人卫星通信系 统	181	8.3 提出信息高速公路的社会背景	225
6.10.2 单人便携式 X 频段卫星通信 系统	184	8.4 信息高速公路的基本结构	226
6.10.3 个人毫米波卫星通信	184	8.5 信息高速公路的组成和特征	227
6.11 VSAT 卫星通信网	185	8.6 信息高速公路的技术基础	227
6.11.1 VSAT 卫星通信网的特点	186	8.6.1 ATM 交换技术	227
6.11.2 VSAT 的发展阶段	186	8.6.2 个人通信	229
6.11.3 VSAT 网的组成	187	8.6.3 智能网	229
6.11.4 VSAT 网络系统的工作原理	188	8.6.4 光纤通信	230
		8.7 信息高速公路的关键技术	236
		8.7.1 多媒体技术	236
		8.7.2 ATM 接口技术	237

8.7.3 硬件技术	238	9.3.1 图像文件格式	274
8.7.4 软件技术	239	9.3.2 图像压缩编码方法	274
8.7.5 互操作性	240	9.3.3 图像压缩编码标准	275
8.7.6 卫星通信	241	9.4 多媒体通信技术	279
8.7.7 移动通信	243	9.4.1 多媒体通信需求	280
8.7.8 个人通信与全球通信	243	9.4.2 多媒体通信网络	281
8.7.9 宽带综合业务数字网 (B-ISDN)	244	9.5 多媒体网络应用	287
8.8 美国实施 NII 具备的条件及情况	247	9.5.1 多媒体会议电视系统	287
8.8.1 美国具备 NII 的条件	247	9.5.2 IP 电话	289
8.8.2 美国实施 NII 的情况	248	9.5.3 多媒体交互式电视技术	291
8.9 信息高速公路的世界意义	248	9.5.4 多媒体应用的发展趋势	292
8.9.1 日本	248	第 10 章 计算机网络通信	293
8.9.2 加拿大	249	10.1 计算机网络基础	293
8.9.3 英国	249	10.1.1 计算机网络的定义和功能	293
8.9.4 韩国	250	10.1.2 计算机网络的类型	293
8.9.5 欧洲共同体	250	10.1.3 计算机网络的拓扑结构	294
8.9.6 法国	250	10.1.4 计算机网络的通信协议	295
8.9.7 新加坡	250	10.1.5 计算机网络的传输介质	297
8.9.8 南美洲共同市场	251	10.1.6 计算机局域网	298
8.9.9 中国	251	10.1.7 网络互联技术	303
8.9.10 印度	254	10.2 Internet	307
8.9.11 其他国家	255	10.2.1 Internet 概述	307
8.10 全球信息基础设施	255	10.2.2 Internet 基础知识	310
8.11 信息高速公路和未来社会	255	10.2.3 连接 Internet 的方法	314
8.11.1 信息高速公路与工作、生活的 关系	256	10.2.4 Internet 提供的主要服务	317
8.11.2 信息高速公路将改变社会力量 结构	257	10.2.5 Internet 的应用和发展	329
8.11.3 信息高速公路和经济发展	259	第 11 章 智能建筑与智能家居	334
8.12 信息高速公路面临的主要问题	259	11.1 智能建筑概述	334
8.13 信息高速公路的建立是一个长远 战略目标	260	11.1.1 智能建筑	334
第 9 章 多媒体通信	262	11.1.2 智能大厦	334
9.1 多媒体技术概论	262	11.1.3 智能小区与住宅小区智能化系统	335
9.1.1 媒体和多媒体技术的基本概念	262	11.1.4 家庭智能化的基本概念	335
9.1.2 多媒体计算机系统	263	11.2 智能大厦的基本功能	336
9.1.3 多媒体技术的应用	267	11.2.1 楼宇自动化系统 (BAS)	336
9.1.4 多媒体技术的由来和发展	268	11.2.2 通信自动化系统 (CAS)	341
9.2 多媒体音频技术	269	11.2.3 办公自动化系统 (OAS)	343
9.2.1 音频信号及其数字化	269	11.2.4 建筑物综合布线系统 (PDS)	344
9.2.2 音频信息压缩编码技术	270	11.3 智能小区系统	346
9.2.3 音乐合成技术——MIDI	273	11.3.1 智能小区的基本要求	346
9.3 多媒体图像视频技术	274	11.3.2 智能小区系统的组成结构	349
		11.3.3 智能小区局域网	355
		11.3.4 智能卡在小区管理中的应用	358
		11.3.5 智能小区系统的发展前景	360

11.4 智能家居	360	13.2.3 第三代移动通信系统 (IMT-2000)	412
11.4.1 概述	360	13.3 个人通信的业务	414
11.4.2 智能家居的基本要求	362	13.3.1 公用电话交换网 (PSTN) 业务	414
11.4.3 智能家居的基本功能	364	13.3.2 综合业务数字网 (ISDN) 业务	416
11.4.4 智能家居的通信网络	367	13.3.3 宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 业务	416
第 12 章 固定电话网	372	13.3.4 第三代移动通信系统 (IMT-2000) 业务	417
12.1 电话通信概述	372	13.3.5 智能网 (IN) 业务	418
12.2 电话通信的主要技术	372	13.4 个人通信的关键技术	420
12.2.1 交换、传输和终端	372	13.4.1 网络方面的关键技术	420
12.2.2 数字程控电话交换机	376	13.4.2 无线系统方面的关键技术	421
12.2.3 综合数字网 (IDN) 及其优越性	378	13.5 无线个人通信的工作频段	423
12.3 固定电话网的组成	380	13.6 无线异步转移模式 (ATM)	423
12.3.1 国际、国内和本地电话网	380	13.6.1 无线 ATM 参考模型	423
12.3.2 电话号码的编排	381	13.6.2 宽带毫米波接入 ATMLAN	424
12.3.3 固定电话网的网同步	382	13.6.3 ATM 无线接入 (AWA) 系统	425
12.3.4 固定电话网的网络管理	385	13.6.4 自适应天线	425
12.4 七号公共信令	388	第 14 章 通信领域新技术	429
12.4.1 七号公共信令的基本概念	388	14.1 蓝牙技术	429
12.4.2 七号信令的四级和七层结构	390	14.1.1 概述	429
12.4.3 MTP 简介	391	14.1.2 蓝牙名称的由来	429
12.4.4 TUP 简介	394	14.1.3 蓝牙协议	429
12.4.5 SCCP 和 TCAP	394	14.1.4 蓝牙应用规范	432
12.4.6 七号信令网	397	14.1.5 蓝牙技术的应用	432
12.4.7 七号信令的新近发展	399	14.1.6 蓝牙的基本功能及性能指标	435
12.5 综合业务数字网 (ISDN)	400	14.1.7 蓝牙的成本优势	435
12.5.1 概述	400	14.1.8 蓝牙与红外	435
12.5.2 ISDN 开放的业务	401	14.1.9 蓝牙技术概要	436
12.5.3 ISDN 的用户网络接口和接口协议	401	14.2 与蓝牙相关的技术	437
12.5.4 ISUP 信令	402	14.2.1 无线应用协议 (WAP)	437
12.6 智能网 (IN)	404	14.2.2 WAP 与蓝牙	437
12.6.1 概述	404	14.2.3 蓝牙与第三代移动通信	438
12.6.2 智能网开放的业务	404	14.2.4 蓝牙与无线局域网	439
12.6.3 智能网的组成	405	14.2.5 蓝牙发展趋势	440
12.7 固定电话网的发展	407	14.3 纳米技术	441
12.7.1 宽带和窄带结合的交换机	407	14.4 紫外光通信系统的研究	443
12.7.2 软交换技术和下一代电信网	407	14.5 同温层通信系统的新设想	444
第 13 章 个人通信	409	参考文献	446
13.1 概述	409		
13.2 个人通信系统的组成	410		
13.2.1 数字蜂窝移动通信系统	410		
13.2.2 数字无绳电信系统	411		

第 1 章 绪 论

一般来说,人类生活的基本要素是:物质、能源和信息。随着科学技术的发展,现在社会已进入了信息时代。信息已成为最重要的资源,传递信息是社会和经济发展的生命线,现代人类已建成了覆盖世界上所有国家的信息网,这是人类最伟大的成就之一。

通信可以理解为信息的传递与交换。它是一门既古老而又年青的学科,说它古老,是因为自从人类组成社会以来,就有了通信;说它年青,是因它至今仍在发展中。

自 1835 年莫尔斯(Morse)发明电报以来,已有 100 多年了。通信大致分为三个阶段:1835 年电报开始的通信为初级阶段,1948 年香农(Shannon)提出信息论开始为近代通信阶段;20 世纪 80 年代以后的光纤通信的应用、综合业务数字网的发展为现代通信阶段。

1.1 通信的基本概念

人与人面对面对话就是传递消息的一种方式。发话人是消息的来源,称为信源;话音通过空气传到对方,而空气是媒质,亦可称为信道;听话者听到的消息的归宿,称为信宿。这样就完成了消息的传递,也就构成了通信系统,如图 1-1 所示。

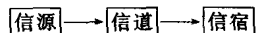


图 1-1 通信系统简略图

对电气通信来说,则需把消息转变成电信号,因此,信源输出的是电信号,然后输入发送设备,再送入信道(信道中还会有噪声干扰),通过信道传送到接收设备,再转换成原来的消息送给信宿。这便是通信系统的基本模型;如图 1-2 所示。

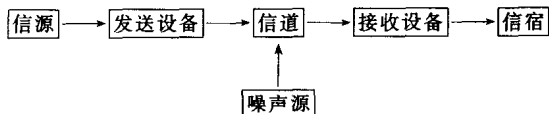


图 1-2 通信系统基本模型

1.2 通信中常用名称的概念

消息:一般指语言、文字、图像、数据等的统称。

信息:将消息给予受信者的新知识,即对受信者来说,预先不知道的消息称为信息。

信号:消息的表现形式,如电、光、声等。由于信号是一种随时间变化的物理量,在数学上可用一个时间 t 的函数来表示。

噪声:通信中的干扰,统称为噪声。在发送系统中,需要的是有用的信号,其余称为噪声。叠加在信号上传输的噪声称为加性噪声,来源于人为噪声、自然噪声、内部噪声。

媒质:是指金属导线、电缆、光缆、波导、自由空间等。

信源:是信息源的简称,产生消息的源。消息可以是文字、语言、图像等。它可以是连

续的形式，也可以是离散的序列，但都是随机发生的。信源可以是人、生物、机器或其他事物。它是事物各种运动状态或存在状态的集合。信源输出的信号称为基带信号。信源研究的主要内容是消息的统计特性和信源产生信息的速率。

信道：是信号传输的通道，又称为传输媒质，不同信道有不同的传输特性。在狭义通信系统中，实际信道有导线、电缆、光缆、波导、无线电波传播的自由空间等，这些都是属于传输电磁波能量的信道。广义的信道还可以是其他的传输媒质（或称媒介）。

信宿：是消息传送的归宿，亦即消息传送的对象，可以是人或机器。

编码：是把消息转换成信号的措施，其目的是使信号适合于信道传输。编码可分两种，即信源编码和信道编码。前者是提高传输的效率，后者是提高可靠性。

解码：是编码的反变换，亦可分为两种，即信道解码和信源解码。前者是恢复为信源编码状态，后者是恢复为信源状态送给信宿。

发送设备：是用来把输入信号连接到信道上的设备。完成对信号的加工，主要是放大、滤波和调制，在这些加工中，主要是调制。通过调制，使被传送的信号的特性与信道相匹配。

接收设备：是接收来自信道的微弱信号和从噪声中选择所需要的载有消息的信号的设备。接收设备主要是通过解调的过程来完成这个功能的，而解调是发送设备中调制的逆过程。它除了完成解调功能外，还为信号提供放大和滤波。

加密：为了在信息传递过程中不被窃听、伪造和篡改，保证信息的安全保密，在发送系统中还需加入加密编码。相应地在接收端还需加入解密编码。

同步：在通信系统中，收、发两端的定时脉冲在整个通信过程中，要求准确无误，始终步调一致地工作。数字通信系统中的同步，按其作用不同，分为载波同步、码同步、帧同步和网同步。

模拟信号：其主要特征为幅度变化是连续的，可取无限个值，例如电话信号波形，如图 1-3 所示。

数字信号：主要特征是离散的，并且只能取有限个数值，如电报信号波形，其幅度只有 0 和 1 两个数值。如图 1-4 所示。

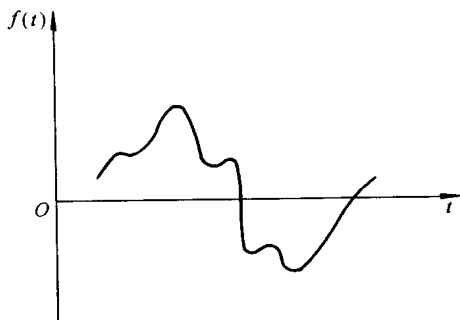


图 1-3 电话信号波形

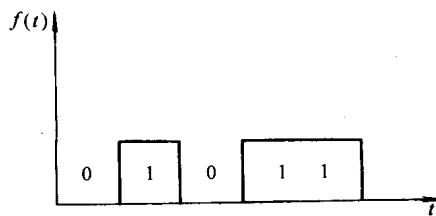


图 1-4 电报信号波形

模拟通信：利用模拟信号作为载体传递信息的通信方式称为模拟通信，如现今大多数电视通信系统。

数字通信：利用数字信号作为载体传递信息的通信方式称为数字通信，如电报、交通道口使用的红灯和绿灯等。

分贝 (dB): 是描述比值的一个单位。它是一个以 10 为底的对数。当分贝数与功率比值相对应时, 则分贝 (dB) 数 = $10 \lg$ 功率比。分贝是通信系统中常用的单位。

二进制: 在数字通信中, 常用的制式, 是以“0”和“1”或“1”或“-1”来表示。

多进制: 在实际的数字通信中, 除二进制外, 还使用多进制 (M 进制), 所使用的计数符号为 0、1、2、 $\dots$ ($M-1$), 其基数为 M 。一个多进制码元所包含的信息比一个二进制码元多, 它们之间存在着如下的数量关系:

$$I_M = \log_2 M \quad (1-1)$$

式中 M —— M 进制;

I_M —— M 进制的码元, 单位为 bit。

比特 (bit): 每秒传送二进制符号的个数。

波特 (Baud): 传送符号的速率。

误码率: 数字通信系统的可靠性可用误码率来衡量, 它代表接收到的数字信号出现错误的概率。其表达式如下:

$$P_e = \frac{\text{传错的比特数}}{\text{传输的总比特数}} \quad (\text{二进制时}) \quad (1-2)$$

$$P_{eM} = \frac{\text{传错的码元数}}{\text{传输的总码元数}} \quad (\text{多进制时}) \quad (1-3)$$

1.3 通信的分类

通信目的是传递消息, 按不同的方法, 可分成许多类型, 下面列出较常用的几种。

(1) 按信号的特征分 按照信道中传输的是模拟信号, 还是数字信号, 可以相应地把它分成模拟通信系统和数字通信系统。

(2) 按传输媒质分 通信系统可分为有线和无线两大类。

(3) 按调制方式分 根据是否采用调制, 可将通信系统分为基带传输 (未调制) 和频带传输 (调制) 两种。频带传输是对各种信号调制后传输的总称。常用的有线性调制、非线性调制、数字调制、脉冲模拟调制和脉冲数字调制等。

(4) 按工作频率分 根据通信设备的工作频率不同, 通信通常可分为长波通信、中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和激光通信。

(5) 按收、发站固定或移动分 可分为固定通信和移动通信。移动通信是指通信双方至少有一方在移动中进行信息交换。近年来发展非常迅速, 已成为现代通信中三大支柱之一。

(6) 按多址方式分 可分为频分多址、时分多址和码分多址通信。

(7) 按用户类型分 可分为公用通信和专用通信。

(8) 按通信方式分 对于点对点之间的通信, 按消息传送的方向与时间关系, 通信方式又分为单工通信、半双工通信和双工通信三种。单工通信, 是指消息只能单方向传输的工作方式, 如遥测、遥控; 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, 如无线电对讲机; 双工通信是指通信双方都能同时进行收发消息的工作方式, 如普通电话就是一种最常用的双工通信方式。

(9) 按业务不同分 可分为电报、电话 (固定、移动、可视)、传真、数据传输、无线寻

呼等。但从广义来说，广播、电视、雷达、导航、遥测、遥控等也列入通信的范畴。

(10) 数据通信 若信源本身发出的就是数字形式的信号（如电报、数据、指令等），不论是用数字传输还是模拟传输方式，这种通信方式称为数据通信。

1.4 通信系统的组成

按照信道中所传信号的特征不同，通信可以分为模拟通信和数字通信。

(1) 模拟通信系统 可把信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统，其组成（亦称为模型）可由一般通信系统模型改变而成。如图 1-5 所示，它包含两种变换：一是把连续性质的消息变换成电信号，由信源来完成，信宿完成把电信号恢复成连续性质的消息；其二是将信源输出的基带信号通过调制器变换成适合信道传输的频率较高的已调信号在接收端由解调器完成相反的变换。

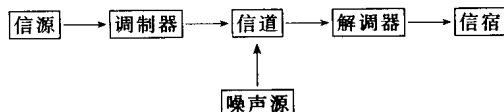


图 1-5 模拟通信系统模型

模拟通信的优点是频带利用率高，其缺点是抗干扰能力差、不适合于计算机通信的要求、不易搞保密通信。

(2) 数字通信系统 信道中传输数字信号的系统，称为数字通信系统，还可细分为模拟信号数字化传输通信系统、数字基带传输通信系统和数字频带通信系统。

1) 模拟信号数字化传输通信系统 将信源的模拟信号实行模/数（A/D）转换，即进行抽样、量化和编码，转换成数字信号，在接收端进行相反的转换，即数/模（D/A）转换送至信宿，如图 1-6 所示。

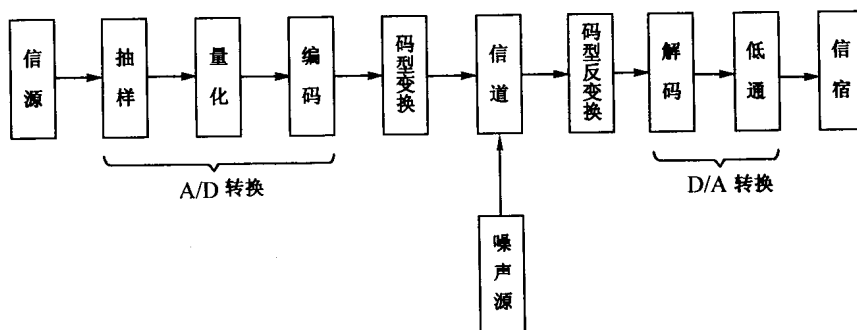


图 1-6 模拟信号数字化传输通信系统模型

2) 数字基带传输通信系统 没有调制器和解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统，如图 1-7 所示。

3) 数字频带传输通信系统 其特征是它的消息具有“离散”或“数字”的特性。数字信号传输时，信道噪声所造成的差错是可以控制的，是通过差错控制编码来实现的，这就需要在发送端增加一个信道编码器，在接收端相应地需要一个信道解码器。当需要实现保密通信

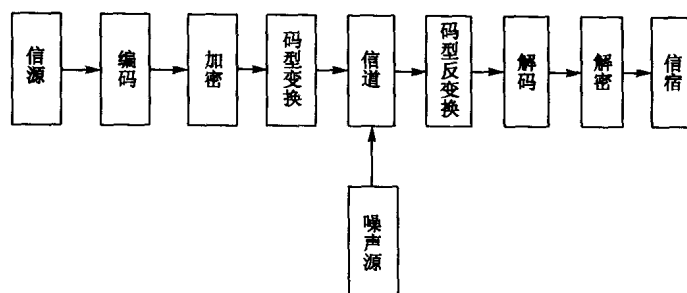


图 1-7 数字基带传输通信系统模型

时，可以对数字基带信号进行“加密”，此时在接收端就必须进行解密。数字通信中，还必须要有同步（码元同步、帧同步和群同步）。点对点的数字通信系统模型一般可用图 1-8 所示。图中，调制和解调、加密和解密、编码和解码等环节，在具体通信系统中是否全部采用，取决于具体设计条件和要求。通常把有调制、解调的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

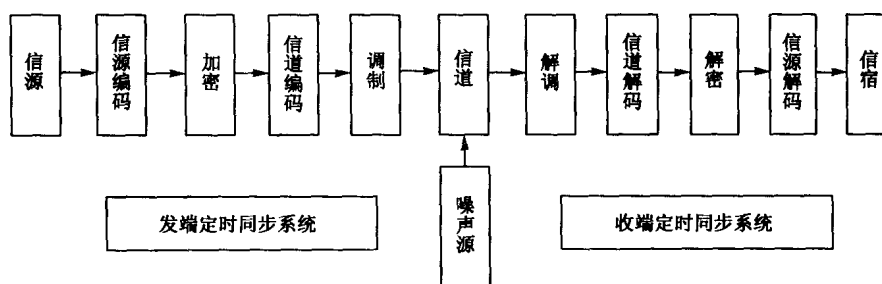


图 1-8 数字频带传输通信系统模型

数字通信的主要优点是抗干扰、抗噪声性能好，差错可以控制，易于加密，易于与现代通信技术相结合。其缺点是频带利用率不高，需要有严格的同步系统，但频带利用率不高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

$$n = \frac{B_w}{B} \quad (1-4)$$

式中 n ——系统在其带宽内最多能传输的话路数；

B_w ——系统允许最大频带宽度；

B ——每路信号的频带宽度。

虽然数字信号占用频带宽，使 n 值小，但可以通过增大系统带宽 B_w 来补偿。如在微波频段中，由于频率比较高、频带资源较富裕，可以采取此补偿办法。

1.5 通信系统的主要性能指标

性能指标亦称质量指标，是对通信系统衡量其质量的优劣，它们是对整个系统综合提出的。

通信系统的性能指标涉及其有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及可维护性等。从研究消息传输来讲，通信的有效性和可靠性是主要的矛盾所在。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。这是两个相互矛盾的问题，通常只能依

据实际要求取得相对的统一。如在满足一定可靠性指标下，尽量提高消息的传输速度；或在维持一定的有效性条件下，使消息传输质量尽可能地提高，但两者不能都提高。

对于模拟通信系统来讲，消息传输速度主要决定于消息所含的信息量和对连续消息（信源）的处理。其目的在于使单位时间内传输更多的消息。从信息论的观点来讲，消息传输速度可用单位时间内传送的信息量来衡量。模拟通信中还有一个重要性能指标，就是均方误差，它是衡量发送的模拟信号与接收端复制的模拟信号之间误差程度的质量指标。均方误差越小，复制的信号越逼真。

上述误差是由两方面原因造成的：其一，由于信号在传输时叠加上噪声，即加性噪声干扰产生的误差；其二，由于信道传输特性不理想产生的误差，称为乘性干扰产生的误差。第一种干扰不管有无信号，却始终存在的；而乘性干扰则随信号的消失而消失，用更具体的性能指标来表述，如电话系统用保真度、可懂度、清晰度等质量指标来表示。加性干扰产生的误差，通常用信号噪声比来衡量。

在数字通信系统中，主要性能指标是传输速率和差错率。

传输速率，它通常以码元传输速率来衡量，又称为码元速率或传码率，它定义为每秒传送码元的数目，单位为波特（Baud）。

差错率，是衡量系统正常工作时，传输消息可靠程度的重要性能指标。它有两种表述方法：误码率及误信率。

误码率，是指错误接收的码元数在传送总码元数中所占的比例，或更确切地说，是码元在传输系统中被传错的概率。

误信率，又称为误比特率，是指错误接收的信息量在传送信息总量中所占的比例，即码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。

简述通信系统的主要质量指标如下：

有效性——指传输信息的速度，即码元速率、信息速率、频带利用率。

可靠性——指传输信息的质量。一般用误码率来表示。

适应性——指系统对外界条件变化的适应能力。

标准性——指缩短研制通信设备的周期，降低生产成本，便于用户选购，便于维修等。

经济性——指性能价格比，还和频带利用率、信号功率利用率有关。

可维护性——指维修简单方便的程度。

保密性——指系统对所传输信号的加密措施。

工艺性——指通信系统的设备各种工艺的水平。

1.6 信息及其度量

为了便于对通信系统的主要性能作定量分析，对信息的含义以及它的定量描述作简单的讨论。

信息（Information）在概念上与消息（Message）的意义相似，但它的含义却更具普遍化、抽象化。信息可理解为消息中包含的有意义的内容，即不同形式的消息，可以包含相同的信息。例如一个人分别用电话和文字发出一个通知，所含信息内容是相同的。

信息的度量是一个长期没有很好得到解决的问题。自然科学研究的对象，通常都要作定