



普通高等教育“十三五”规划教材

通信原理

TONG XIN YUAN LI

主编 陈启兴



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等教育“十三五”规划教材

通信原理

主 编 陈启兴

副主编 柳红英 向 强 苏 赋 张 燕

参 编 汪 敏 龙 红 张佳芬 钟耀霞

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书言简意赅、系统全面介绍了电通信的基本原理,具体包括信道、模拟调制系统、数字基带传输系统、正弦载波数字调制系统、模拟信号的数字传输、最佳接收机、差错控制编码、正交编码与伪随机码序列、同步原理。全书共分11章,每章都附有思考题与习题,以帮助读者加深理解本书主要内容。

本书注重选材,例题较多,内容丰富,层次分明,难易适中,清晰明了阐述基本概念、基本原理和基本分析方法,可以作为本科、高职高专电子信息类和通信类专业的教材,也可以供电子信息领域工程技术人员和技术管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理 / 陈启兴主编. —北京:国防工业出版社, 2017. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 11055 - 5

I. ①通… II. ①陈… III. ①通信原理 IV.
①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 268623 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)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 379 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 46.00 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

本书是由成都信息工程大学、西南交通大学、西南石油大学、西南民族大学和电子科技大学成都学院的教师联合编写的教材,是高校老师多年教学和实践的结晶,吸收了许多国内外著名的同类教材的精华。

为了适应当前通信技术的发展要求和高等院校的教学需求,我们力求简单明了阐述基本概念、基本理论和基本原理,力求数学公式的推导简洁和严谨,密切联系新兴的通信技术。在内容上突出基础性、系统性、实用性和先进性,注重理论与实践结合和知识运用能力及创新意识的培养。

本书共有 11 章,主要内容包括随机信号分析、信道、模拟调制系统、数字基带传输系统、正弦载波数字调制系统、模拟信号的数字传输、数字信号的最佳接收、差错控制编码、正交编码与伪随机序列和同步原理。

本书的第 1 章、第 3 章和第 5 章由柳红英编写,第 2 章、第 10 章和第 11 章由陈启兴编写,第 4 章和第 5 章由苏赋编写,第 6 章和第 7 章由向强编写,第 8 章和第 9 章由张燕编写。全书最后由陈启兴统编定稿,参编老师负责思考题的编写和全书文字的校订。

本书还制作了电子教学课件,各高校任课教师可以直接到国防工业出版社网站免费下载。

由于编者的水平有限,书中难免有不妥,甚至错误的地方,请广大读者不吝指教。编者的联系 E-mail:chenqx@cuit.edu.cn。

编 者

2016 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 通信系统的组成	1
1.2.1 通信系统的一般模型	2
1.2.2 模拟通信系统模型和数字通信系统模型	3
1.2.3 数字通信的特点	5
1.3 通信系统的分类及通信方式	6
1.3.1 通信系统的分类	6
1.3.2 通信方式	8
1.4 信息及其度量	9
1.5 主要性能指标	10
1.5.1 模拟通信系统的质量指标	11
1.5.2 数字通信系统的质量指标	11
1.6 小结	12
思考题与习题	13
第2章 随机过程分析	14
2.1 引言	14
2.2 随机过程	14
2.2.1 随机过程的分布函数	14
2.2.2 随机过程的数字特征	15
2.3 平稳随机过程	16
2.3.1 平稳随机过程的定义	16
2.3.2 各态历经性	17
2.3.3 平稳随机过程的自相关函数	18
2.3.4 平稳过程的功率谱密度	19
2.4 高斯随机过程	20
2.4.1 高斯过程的定义	20
2.4.2 高斯随机变量	22
2.5 窄带随机过程	23
2.5.1 $\xi_c(t)$ 和 $\xi_s(t)$ 的统计特性	24

2.5.2	$a_{\xi}(t)$ 和 $\varphi_{\xi}(t)$ 的统计特性	26
2.6	高斯白噪声和带限白噪声	26
2.6.1	白噪声	26
2.6.2	低通白噪声	27
2.6.3	带通白噪声	28
2.7	本章小结	28
	思考题与习题	29
第3章	信道	31
3.1	引言	31
3.2	信道定义	31
3.3	信道数学模型	32
3.4	恒参信道举例	33
3.4.1	双绞线	34
3.4.2	同轴电缆	34
3.4.3	光纤	34
3.4.4	无线恒参信道	35
3.5	恒参信道特性及其对信号传输的影响	36
3.6	随参信道举例	38
3.7	随参信道特性及其对信号传输的影响	40
3.8	随参信道特性的改善——分集接收	44
3.8.1	分集方式	44
3.8.2	分集合并方式	45
3.9	信道的加性噪声	46
3.10	信道容量	47
3.10.1	离散无记忆信道的容量	47
3.10.2	连续信道容量	50
3.11	本章小结	51
	思考题与习题	52
第4章	模拟调制系统	53
4.1	引言	53
4.2	幅度调制的原理	54
4.2.1	调幅	54
4.2.2	双边带调制	56
4.2.3	单边带调制	56
4.2.4	残留边带调制	59
4.3	线性调制的抗噪声性能	61
4.3.1	抗噪声性能分析模型	61

4.3.2	DSB 调制系统的抗噪声性能	62
4.3.3	SSB 调制系统的抗噪声性能	63
4.3.4	AM 调制系统的抗噪声性能	64
4.4	非线性调制的原理及抗噪声性能	67
4.4.1	角度调制的基本概念	67
4.4.2	窄带调频	69
4.4.3	宽带调频	70
4.4.4	调频信号的产生与解调	72
4.4.5	调频系统的抗噪声性能	74
4.4.6	预加重和去加重技术	76
4.5	各种模拟调制系统的比较	77
4.6	频分复用	77
4.7	本章小结	78
	思考题与习题	79
第 5 章	数字基带传输系统	82
5.1	引言	82
5.2	数字基带信号及其频谱特性	82
5.2.1	数字基带信号	82
5.2.2	数字基带信号的频谱特性	84
5.3	数字基带传输的常用码型	90
5.4	基带脉冲传输与系统中的码间串扰	93
5.5	无码间串扰的数字基带传输特性	95
5.5.1	无码间串扰传输与 Nyquist 准则	95
5.5.2	带限信道的无码间串扰传输	96
5.5.3	升余弦滚降滤波器	98
5.6	基带传输系统的抗噪声性能	100
5.6.1	二进制双极性基带系统的抗噪声性能	100
5.6.2	二进制单极性基带系统的抗噪声性能	102
5.7	眼图	102
5.8	部分响应技术	104
5.8.1	第一类部分响应系统	104
5.8.2	部分响应系统的一般形式	106
5.9	信道均衡	108
5.9.1	均衡原理	108
5.9.2	数字均衡器	109
5.9.3	基本均衡算法	110
5.9.4	自适应均衡算法	111
5.10	本章小结	112

思考题与习题	113
第6章 正弦载波数字调制系统	116
6.1 引言	116
6.2 二进制数字调制原理	116
6.2.1 二进制振幅键控(2ASK)	116
6.2.2 二进制频移键控(2FSK)	119
6.2.3 二进制相移键控(2PSK)	122
6.2.4 二进制差分相移键控(2DPSK)	124
6.3 二进制数字调制系统的抗噪声性能	126
6.3.1 2ASK 系统的抗噪声性能	127
6.3.2 2FSK 系统的抗噪声性能	130
6.3.3 2PSK 和 2DPSK 系统的抗噪声性能	131
6.4 二进制数字调制系统的误码率比较	133
6.5 多进制数字调制方式	134
6.5.1 多进制振幅键控	134
6.5.2 多进制频移键控	137
6.5.3 多进制相移键控	138
6.5.4 多进制差分相移键控	142
6.6 本章小结	145
思考题与习题	145
第7章 模拟信号的数字传输	147
7.1 引言	147
7.2 模拟信号的抽样	148
7.2.1 低通模拟信号的抽样定理	148
7.2.2 实际抽样	149
7.2.3 模拟脉冲调制	151
7.2.4 带通信号的抽样	151
7.3 抽样信号的量化	153
7.3.1 量化原理	153
7.3.2 均匀量化	154
7.3.3 非均匀量化	156
7.4 脉冲编码调制	161
7.4.1 脉冲编码调制的基本原理	161
7.4.2 自然二进制码、反射二进制码和折叠二进制码	162
7.4.3 电话信号的编码规则	163
7.4.4 PCM 传输系统的抗噪声性能	164

7.5 其他信源编码的基本原理	164
7.5.1 语音压缩编码	165
7.5.2 差分脉冲编码调制	165
7.5.3 增量调制	167
7.6 时分复用	170
7.6.1 时分复用的基本原理	170
7.6.2 准同步与同步数字体系	171
7.7 本章小结	175
思考题与习题	175
第8章 数字信号的最佳接收	177
8.1 引言	177
8.2 数字信号的统计特性	177
8.3 数字信号的最佳接收	178
8.4 确知数字信号的最佳接收机	180
8.5 确知数字信号的最佳接收机的误码率	181
8.6 数字通信系统的匹配滤波接收法	184
8.7 本章小结	186
思考题与习题	186
第9章 差错控制编码	188
9.1 引言	188
9.2 差错控制编码的基本概念	189
9.3 线性分组码	192
9.4 循环码	197
9.4.1 循环码原理	197
9.4.2 循环码的编解码方法	200
9.4.3 BCH 码	202
9.5 卷积码	204
9.5.1 卷积码的基本原理	204
9.5.2 卷积码的代数描述	205
9.5.3 卷积码的解码	209
9.6 网格编码调制	214
9.6.1 网格编码调制的基本概念	214
9.6.2 TCM 信号的产生	214
9.6.3 TCM 信号的解调	216
9.7 本章小结	216
思考题与习题	216

第 10 章 正交编码与伪随机序列	218
10.1 引言	218
10.2 正交编码的基本概念和常见的正交编码	218
10.2.1 正交编码的基本概念	218
10.2.2 常见的正交编码	219
10.3 伪随机序列	222
10.3.1 m 序列的产生	223
10.3.2 m 序列的性质	228
10.4 扩频通信	229
10.5 本章小结	231
思考题与习题	231
第 11 章 同步原理	232
11.1 引言	232
11.2 载波同步	232
11.2.1 载波同步的插入导频法	232
11.2.2 载波同步的直接法	233
11.3 载波同步的性能	236
11.4 码元同步	238
11.4.1 码元外同步法	239
11.4.2 码元自同步法	239
11.5 群同步	240
11.5.1 连贯式输入法	241
11.5.2 间歇式输入法	243
11.5.3 起止式同步法	244
11.6 本章小结	245
思考题与习题	245
参考文献	246

第1章 绪 论

1.1 引言

由于人类社会现代通信技术(比如移动电话、电视和因特网)的飞跃发展,我们现在可以与全球各地的人们随时进行通信、处理日常事务、了解天下大事并把握世界发展的形势。而电子邮件和传真已经使文字信息的远距离快速传递成为现实。现代通信系统是用电信号来传递消息的,因而称之电通信,即电信。

电通信的历史并不长,至今不过只有 170 多年的时间。一般把 1838 年塞缪尔·莫尔斯(Samuel Morse)研究出有线电报作为开始使用电通信的标志,但那时的通信距离只有 70km。1876 年亚历山大·格雷厄姆·贝尔(Alexander Graham Bell)发明的有线电话称为现代电信的开端。1878 年世界上的第一个人工交换局只有 21 个用户。无线电报于 1896 年实现,它开创了无线电通信发展的道路。1906 年电子管的发明迅速提高了无线通信及有线通信的水平。

伴随着通信技术的发展,通信科学在 20 世纪 30 年代起获得了突破性的进展,先后形成了脉冲编码原理、信息论、通信统计理论等重要理论体系。50 年代以来通信发展更是引人注目,所取得的重大成就包括沃尔特·布拉顿(Walter Brattain)、约翰·巴丁(John Bardeen)和威廉·肖克利(William Shockley)于 1947 年发明的晶体管,杰克·基尔比(Jack Kilby)于 1958 年发明的集成电路,以及汤斯(Townes)和肖洛(Schawlow)于 1958 年发明的激光。这些发明使得用于构建卫星通信系统、宽度微波通信系统及光缆光波通信系统的小尺寸、低功率、低重量的高速电路的发展成为可能。

目前,绝大多数的有线通信系统正在被光缆所取代,因为光缆能够提供极高的带宽并能进行包括语音、数据和视频信号在内的多种信源的传输。蜂窝无线电已经在为乘坐轿车、公交车和火车旅行的人们提供电话服务,高速通信网络则将全世界的计算机和各种外围设备真正连接在一起。

我们现在正亲眼目睹一项重大的进展,这就是包括语音、数据和视频传输的个人通信业务的出现和应用,而卫星和光纤网络正在为全世界提供高速通信业务。的确,我们已经看到了现代电信新纪元的曙光。

1.2 通信系统的组成

通信是一个快速发展的领域,它涉及的内容非常广泛。本书的目标是让读者体验、理解通信系统有效传输信息的基本理论和方法。

在通信系统中,接收端(接收者)在没有收到信号之前是不知道信号波形的,否则就

没有可传输的信息,也就没有必要进行通信了。也就是说,信息的传输意味着预先未知信息的交流。

噪声限制了通信系统的通信能力。如果没有噪声,就可以以极小的功率将信号传至无穷远。在无线通信的早期,人们明显意识到了这一点。但是关于噪声及噪声对信息传输系统影响的理论直到 20 世纪 40 年代才由诺思(1943 年)、赖斯(1944 年)、香农(1948 年)及维纳(1949 年)等人提出。

通信系统设计用来传输携带信息的波形给接收者。可以选择不同的波形来携带信息。例如,选择什么样的波形来表示打印出来的字母 A 呢? 这取决于许多因素,包括波形的带宽(频带宽度)和波形的中心频率、波形的功率或能量、噪声对波形携带的信息的影响以及发射端产生波形和接收端检测波形的成本。

1.2.1 通信系统的一般模型

通信系统的作用是将消息或信息从产生消息的信源发送到一个或多个目的地。其通常可以用图 1-1 所示的功能框图来表示。

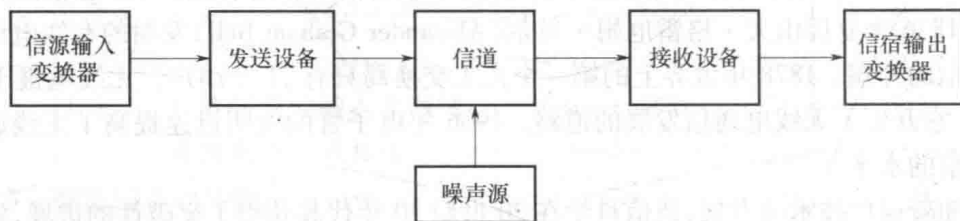


图 1-1 通信系统的一般模型

(1) 信源输入变换器。信源所产生的信息可以是声音、图像或文本。信源一般包含变换器,将信源的输出变换成电信号。例如,用作变换器的话筒,可以将语音信号变换成电信号,而摄像机则将图像信号变换成电信号。这些设备输出的信号一般称为基带信号。

(2) 发送设备。发送设备将原始基带电信号变换成适合物理信道或其他传输介质传输的形式。例如在无线电和电视广播中,通信部门规定了各发射台的频率范围,因此,发射机必须将待发送的信息信号转换到适合的频率范围来发送,以便与分配给此发射机的频率相匹配。这样,由多个无线电台发送的信号就不会彼此干扰。又如果信道是由光纤组成的,那么发送设备就要将处理好的基带信号转换成光波信号再发送。因此发送设备涵盖的内容很多,可能包含变换、放大、滤波、编码调制等过程。对于多路传输系统,发送设备中还包括多路复用器。

(3) 信道。信道是将来自发送设备的信号发送到接收端的物理介质。信道可以分为两大类:无线信道和有线信道。在无线信道中,信道可以是大气、自由空间和海水。有线信道有双绞电话线、同轴电缆及光纤等。信道对不同种类的信号有不同的传输特性,但都会对在信道中传输的信号产生衰减,信道中的噪声和由不理想接收机引入的噪声会引起接收信号的失真。

(4) 接收设备。接收设备的功能是从受损的接收信号中正确恢复出原始电信号。

接收到的信号由于噪声的影响,出现某种程度的恶化,除了完成信号解调这一功能外,接收机还有完成包括信号滤波、放大和噪声抑制等在内的其他一系列外围功能。在后面章节的分析中我们将会看到,接收消息信号的保真度与调制类型和加性噪声强度密切相关。

(5) 信宿输出变换器。信宿即消息的目的地,信宿里包含的输出变换器(如扬声器和显示器等)将接收到原始电信号变换成适合用户的形式,如声音、图像等。

我们的目标是在允许的发射功率、信号带宽及成本的条件下,设计出以尽可能小的失真量将信息传输到接收端的通信系统。

1.2.2 模拟通信系统模型和数字通信系统模型

我们知道信息由波形来携带,也就是说必须借助于一定形式的信号才能传送和进行各种处理,因而信号是信息的表现形式,是通信的客观对象。按信号参量的取值方式不同可以分为两类:模拟信号和数字信号。如果信号的参量取值连续(不可数、无穷多),则称之为模拟信号。产生这种信号的相应信源称为模拟信源(Analog sources)。例如话筒送出的输出电压包含有话音信息,并在一定的取值范围内连续变化。模拟信号也称连续信号,这里连续的含义是指信号的某一参量连续变化,或者说在某一取值范围内可以取无穷多个值,而不一定在时间上也连续,如图1-2(b)中所示的抽样信号。如果电信号的参量仅可能取有限个值,则称之为数字信号。如电报信号、计算机输入输出信号等。数字信号有时也称为离散信号,这个离散是指信号的某一参量是离散变化的,而不一定在时间上也离散,如图1-3(b)所示的二进制数字调相(2PSK)信号。产生数字信号的信源称为数字(离散)信源[Digital(discrete) source]。

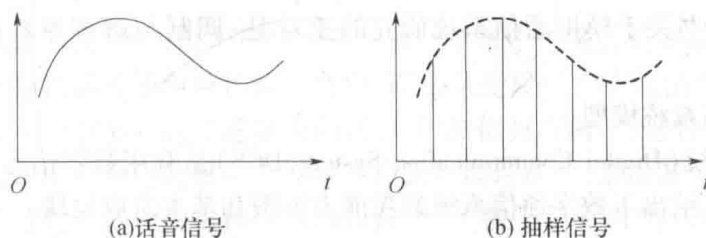


图1-2 模拟信号

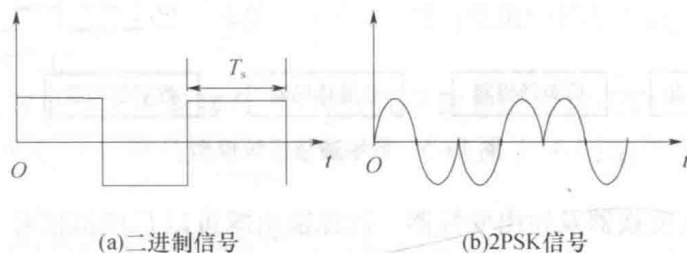


图1-3 数字信号

按照信道中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和数字通信系统。

1. 模拟通信系统模型

模拟通信系统(Analog Communication System, ACS)是利用模拟信号来传递信息的通信系统,其模型如图 1-4 所示,其中包含两种重要变换。第一种变换是,在发送端把连续消息变换成原始电信号,在接收端进行相反的变换,这种变换由信源和信宿来完成。这里所说的原始电信号通常称为基带信号,基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始,如话音信号的频率范围为 $300 \sim 3400\text{Hz}$,图像信号的频率范围为 $0 \sim 6\text{MHz}$ 。有些信道可以直接传输基带信号,而以自由空间作为信道的无线电传输却无法直接传输这些信号。因此,模拟通信系统中常常需要进行第二种变换: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通常是调制器和解调器。经过调制以后的信号称为已调信号,它应有两个基本特征:一是携带有信息;二是适应在信道中传输。由于已调信号的频谱通常具有带通形式,因而已调信号又称为带通信号(也称为频带信号)。

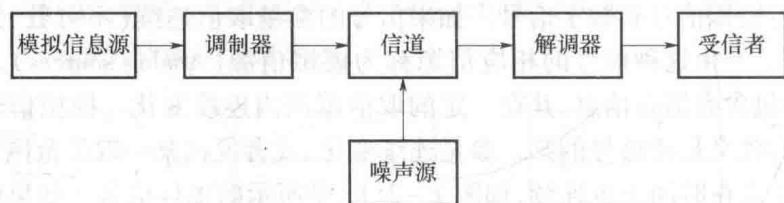


图 1-4 模拟通信系统模型

需要指出的是,除了上述的两种变换,实际通信系统中可能还有滤波、放大、天线辐射等过程。由于上述两种变换起主要作用,而其他过程不会使信号发生质的变化,只是对信号进行放大和改善信号特性等,在通信系统模型中一般被认为是理想的而不予讨论。因此本书关于模拟通信系统研究的重点是:调制与解调原理以及噪声对信号传输的影响。

2. 数字通信系统模型

数字通信系统(Digital Communication System, DCS)是利用数字信号来传递信息的通信系统。图 1-5 给出了数字通信系统的功能方框图和基本组成模块。

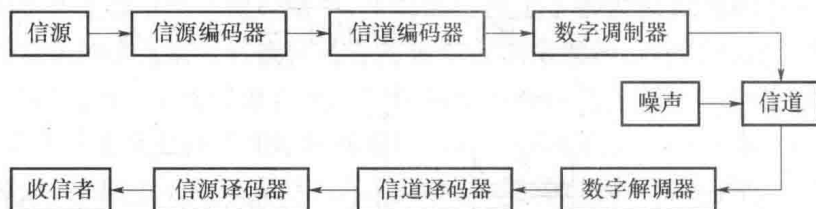


图 1-5 数字通信系统模型

(1) 信源输入变换器及输出变换器。信源输出既可以是模拟信号,如音频或视频信号;也可以是数字信号,如计算机的输出,这种输出在时间上是离散的,且输出字符数也是有限的。因此在数字通信系统中,发射机和接收机完成的功能还应该包括发送端信息信号的数字化,以及接收端信息信号的合成。

(2) 信源编码译码器。将模拟或数字信源的输出高效地变换成二进制序列的过程称

为信源编码(Source encoding)或数据压缩(Data compression)。信源译码是信源编码的逆过程。

(3) 信道编码译码器。信道编码的目的是增强数字信号的抗干扰能力。数字信号在信道中传输时受到噪声等影响后将会引起差错。为了减小差错,信道编码器以受控的方式引入一定的冗余码元(监督元),组成所谓的“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按相应的逆规则进行解码,从中发现错误或纠正错误,提高通信系统的可靠性。

(4) 数字调制解调器。在实际应用中,不同的通信信道能够传送不同的电信号(波形),因此数字调制器的目的是将二进制信息序列映射成适合特定信道传输的信号波形。数字解调器(Digital demodulator)对信道损伤的发射波形进行处理,并将每个波形还原成表示所发送数据码元(二进制或 M 进制)的估计数字。例如,采用二进制调制时,解调器对所接收波形进行处理,以判定发送的比特是1还是0,这种情况称之为二元判决或硬判决(Hard decision)。当需要保密时,可以有效地对基带信号进行人为扰乱,即加密,在接收端就需要进行解密。

评价解调器与译码器性能好坏的测度,是译码序列中出现错误的概率。更准确地说,在译码器输出端出现比特错误的平均概率是评价解调器—译码器组合性能的依据。一般情况下,错误概率与码特性、信道中进行信息发送的波形类型、发射机功率、信道特性及解调和译码方法等有关。

1.2.3 数字通信的特点

由于不断增长的对数据通信的需求,还由于数字传输能够提供模拟传输所无法达到的数据处理种类及灵活性,数字通信系统正受到越来越广泛的重视。与模拟通信相比,数字通信具有以下一些优点。

(1) 抗干扰能力强,且噪声不积累。数字通信系统中传输的是离散取值的数字波形,接收端的目标不是精确地还原被传输的波形,而是从受到噪声干扰的信号中判决出发送端所发送的是哪一个波形。以二进制为例,信号的取值只有两个,这时要求在接收端能正确判决发送的是两个状态中的哪一个即可。在远距离传输时,如微波中继通信,各中继站可利用数字通信特有的抽样判决再生的接收方式,使数字信号再生且噪声不积累。而模拟通信系统中传输的是连续变化的模拟信号,它要求接收机能够高度保真地重现原信号波形,一旦信号叠加上噪声后,即使噪声很小,也很难消除它。

(2) 传输差错可控。在数字通信系统中,可通过信道编码技术进行检错与纠错,降低误码率,提高传输质量。

(3) 易于与各种数字终端接口,用现代数字信号处理技术对数字信息进行处理、变换、存储。这种数字处理的灵活性表现为可以将来自不同信源的信号综合到一起传输。

(4) 易于集成,使通信设备微型化,重量轻。

(5) 易于加密处理,且保密性好。

不过,数字通信系统也有以下不足:

(1) 一般地说,数字通信系统比模拟通信系统要求更宽的带宽。

(2) 需要同步。

但是,数字通信系统的优点比其缺点多。因此,数字通信系统的应用越来越广泛。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

1. 按通信业务分类

根据通信业务的类型不同,通信系统可以分为电报通信系统、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发达普及,因而其他一些业务也通过公用电话通信网传输,如电报通信和远距离数据通信都可以通过电话信道传输。综合业务数字通信网适用于各种类型业务的消息传输。

2. 按调制方式分类

根据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系统和带通(频带或调制)传输系统。基带传输是将未经调制的信号直接传送,如市内电话、有线广播;带通传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多,表1-1列出了一些常见的调制方式及用途。

表 1-1 常见调制方式及用途

调制方式		典型应用
连续波调制	模拟调制	标准调幅
		广播
		双边带调幅
		立体声广播
		单边带调幅
		无线电台、数据传输
	数字调制	残留边带调幅
		电视广播、数据传输和传真
		频率调制
脉冲波调制	模拟调制	微波中继、卫星通信和广播
	数字调制	相位调制
		中间调制
	数字调制	振幅键控
		数据传输
		频移键控
		数据传输
		相移键控
		数据传输、数字微波和空间通信
脉冲波调制	模拟调制	脉幅调制
	数字调制	中间调制和遥测
		脉宽调制
	数字调制	自动控制
		脉位调制
		遥测和光纤传输
		脉码调制
		市话、卫星通信和空间通信
		增量调制
脉冲波调制	模拟调制	数字电话
	数字调制	差分脉码调制
		电视、电话和图像编码
		自适应脉码调制
		数字电话

3. 按信号特征分类

按照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成模拟通信系统和数字通信系统。

4. 按传输媒质分类

按传输媒质分类,通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。所谓有线通信系统是用导线(如架空明线、同轴电缆、光导纤维及波导等)作为传输媒质完成的通信,如市内电话、有线电视及海底光缆通信等。所谓无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

5. 按工作波段分类

由于不同频率的电磁波具有不同的传输特性,为了便于充分利用和管理通信资源,可按通信设备的工作频率不同分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信、远红外线通信等。表1-2列出了通信使用的频段、常用的传输媒质及主要用途。

工作波长和频率的换算公式为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

式中: λ 为工作波长(m); f 为工作频率(Hz); c 为光速(m/s)。

表1-2 通信波段与常用传输媒质

频率范围	波长	符号	传输媒质	用途
3kHz ~ 30kHz	$10^4 \sim 10^8$ m	甚低频 VLF	有线 长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30kHz ~ 300kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 LF	有线 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz ~ 3MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆 短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3MHz ~ 30MHz	$10 \sim 10^2$ 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
30MHz ~ 300MHz	1 ~ 10m	甚高频 VHF	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信导航
300MHz ~ 3GHz	10 ~ 100cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3GHz ~ 30GHz	1 ~ 10cm	超高频 SHF	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30GHz ~ 300GHz	1 ~ 100mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	微波接力、射电天文学、雷达
10^7 GHz ~ 10^8 GHz	$3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}$ cm	紫外、可见光、红外	光纤 激光空间传播	光通信

6. 按信号复用方式分类

传输多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。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;时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间;码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。传统的模拟