



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

通信原理

主编 禹思敏
主审 李白萍



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

通信原理

主编 禹思敏

主审 李白萍

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书是根据国内“通信原理”课程的主要教学体系,在编者多年来授课经验的基础上,参考了国内外一些相关的教材和教学参考书,为电子信息工程、电子信息科学与技术、通信工程、网络工程等专业的本科生教学而编写的一本教材。

全书共9章,主要内容包括:绪论、确知信号与随机信号分析基础、信道与噪声、模拟通信系统简介、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字调制技术、伪随机序列与扩频通信和差错控制编码等。本书压缩了一部分偏深、偏难的内容,重点突出对通信基本原理和基本概念的分析与叙述,便于教学与自学。

本书可作为高等学校电子信息工程、电子信息科学与技术、通信工程、网络工程等专业的本科生教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/禹思敏主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.2

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1988-0

I. 通… II. 禹… III. 通信理论-高等学校-教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 005165 号

策 划 曹 昶

责任编辑 曹 昶

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5

字 数 336千字

印 数 1~4000册

定 价 20.00元

ISBN 978-7-5606-1988-0/TN·0408

XDUP 2280001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。 8005

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任：杨震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授）

秦会斌（杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授）

通信工程组

组长：张德民（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

王晖（深圳大学信息工程学院副院长、教授）

巨永锋（长安大学信息工程学院副院长、教授）

成际镇（南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授）

刘顺兰（杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授）

李白萍（西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授）

张邦宁（解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授）

张瑞林（浙江理工大学信息电子学院院长、教授）

张常年（北方工业大学信息工程学院院长、教授）

范九伦（西安邮电学院信息与控制系系主任、教授）

姜兴（桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授）

姚远程（西南科技大学信息工程学院副院长、教授）

康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

葛利嘉（中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授）

电子信息工程组

组长：秦会斌（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

王荣（解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授）

朱宁一（解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师）

李国民（西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授）

李邓化（北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授）

吴谨（武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授）

杨马英（浙江工业大学信息工程学院副院长、教授）

杨瑞霞（河北工业大学信息工程学院院长、教授）

张雪英（太原理工大学信息工程学院副院长、教授）

张彤（吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授）

张焕君（沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授）

陈鹤鸣（南京邮电大学光电学院院长、教授）

周杰（南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授）

欧阳征标（深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授）

雷加（桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授）

项目策划：毛红兵

策划：曹映 寇向宏 杨英 郭景

前 言

本书是根据国内“通信原理”课程的主要教学体系,参考了国内外一些相关的教材和教学参考书,在编者多年来授课经验的基础上,经多次整理和修改,为电子信息工程、电子信息科学与技术、通信工程、网络工程等专业的本科生教学而编写的一本教材。

本书的主要内容如下:

第1章介绍了现代通信技术的形成与发展、通信系统的组成、数字通信的主要优缺点、通信分类、通信方式与传输方式、信息及其度量、通信系统的主要性能指标等内容。

第2章包括确知信号和随机信号分析、随机信号通过线性系统、窄带随机过程、余弦波加窄带高斯随机过程等内容。有些内容在“信号与系统”和“高等数学”中学过,不作数学推导和证明。本章也是“通信原理”基本知识点的归纳、总结和复习,便于查阅。

第3章内容包括信道的定义、分类与模型,恒参信道与变参信道对传输信号的影响,多径效应,频率选择性衰落,分集技术,高斯白噪声,信道容量等。

第4章是模拟通信系统简介的内容。作为“通信原理”的一个组成部分,为保持整体内容的连贯性,本章简要介绍了模拟信号调制与解调的基本原理与方法。这些内容仅作为辅助阅读材料,目的是为学习数字通信打好基础。

第5章介绍了模拟信号的数字传输,主要包括脉冲编码调制、增量调制和改进型增量调制等内容,对其基本工作原理进行了分析。

第6章介绍了数字信号的基带传输,对基带传输系统的基本组成、工作原理与性能进行了分析,讨论了无码间串扰的数字基带传输系统和奈氏(奈奎斯特)第一准则,给出了用奈氏第一准则判断是否存在码间干扰的若干实例。

第7章介绍了数字调制的基本原理与技术,主要包括二进制和多进制数字调幅、数字调频、数字调相、数字调制信号的相干解调和非相干解调、多进制数字调相系统的原理分析与逻辑设计、数字信号的最佳接收等内容。作为一种探讨与尝试,本章还进一步介绍了基于组合逻辑电路的分析与设计方法,对循环码 16PSK、自然二进制 16PSK、自然码 16QAM 三种调制器的逻辑电路进行了设计,给出了较详细的设计过程与结果,这种方法对更为一般的 MPSK 和 MQAM 调制器的设计具有一定参考价值。

第8章介绍了伪随机序列的基本概念、 m 序列的基本性质、 m 序列的产生方法、 m 序列的功率谱分析与计算、 m 序列在扩频通信中的应用、多址技术简介等内容。作为一个典型的应用实例,本章还对直接序列扩频通信系统的组成原理进行了较详细的分析和讨论。

第9章介绍了差错控制编码的基本原理与实现方法、线性分组码的编码与译码、循环码的编码与译码、卷积码简介等内容。为便于读者理解和掌握线性分组码与循环码,本章重点围绕组合逻辑电路与时序电路的分析与设计方法,对线性分组码和卷积的编码与译码

电路进行了较详细的分析与设计。

本书的编写特点主要体现在以下三个方面：

(1) 压缩了一部分偏深偏难的内容和一些偏重于对技术作专门介绍的内容，重点突出对通信基本原理和基本概念的分析与叙述。本课程应属于专业基础课，在学时受限情况下，不追求面面俱到，使读者能集中精力来理解通信的基本原理与方法。有关现代通信的一些新技术与新方法，可在后续专业课程或专业选修课程中作进一步的介绍。

(2) 对通信基本原理与概念的叙述详细，对其中的理论分析部分给出了详尽的数学推导过程和步骤，并精心设计了一些图形或波形图来加以补充和说明，从而能帮助读者理解其中一些较抽象的问题，便于教学与自学。

(3) 与已修数字电路课程的内容联系紧密。作为一种探讨和尝试，对其中一些较难理解的内容，如线性分组码和循环码的编码与译码、MPSK 和 MQAM 的调制与解调等，本书采用了组合逻辑电路和时序逻辑电路的方法来分析并叙述这些内容。

本书由李白萍教授担任主审，李教授为本书提出了许多宝贵的修改意见。在编写过程中，得到了西安电子科技大学出版社的大力支持。此外，还得到了由编者本人主持的国家自然科学基金、广东省自然科学基金和广州市科技计划项目的资助。在此，特向上述单位或个人表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免存在不足之处，敬请广大同行和读者提出宝贵意见。

编 者

2007年11月于广州

目 录

第 1 章 绪论	1	之间的关系	21
1.1 现代通信概述	1	2.2 随机信号分析	21
1.2 通信系统的组成	2	2.2.1 随机事件与概率	21
1.2.1 模拟通信系统的组成	3	2.2.2 条件概率与统计独立	22
1.2.2 数字通信系统的组成	3	2.2.3 概率的基本定理	22
1.2.3 模拟信号的数字化传输通信系统	3	2.2.4 随机变量与概率分布	22
1.3 数字通信的主要优缺点	4	2.2.5 随机变量的数字特征	23
1.3.1 主要优点	4	2.2.6 随机过程及其统计描述	24
1.3.2 主要缺点	4	2.2.7 随机过程的数字特征	26
1.4 通信分类、通信方式与传输方式	5	2.2.8 平稳随机过程和各态历经性	26
1.4.1 通信分类	5	2.3 确定性信号与随机信号通过线性系统	29
1.4.2 通信方式	6	2.4 窄带随机过程概述	30
1.4.3 传输方式	7	2.4.1 窄带的概念	30
1.5 信息及其度量	8	2.4.2 窄带随机过程	30
1.5.1 信息的度量	8	2.4.3 窄带随机过程的性质	31
1.5.2 平均信息量	8	2.5 余弦波加窄带高斯随机过程	32
1.6 通信系统的主要性能指标	10	习题 2	33
1.6.1 数字通信系统的有效性指标	10	第 3 章 信道与噪声	35
1.6.2 数字通信系统的可靠性指标	12	3.1 信道的定义、分类与模型	35
习题 1	12	3.1.1 信道的定义	35
第 2 章 确知信号与随机信号分析		3.1.2 信道的分类	36
基础	14	3.1.3 信道的模型	36
2.1 确知信号分析	14	3.2 恒参信道及其对传输信号的影响	37
2.1.1 周期信号傅里叶级数展开式与非周期信号的傅里叶变换	14	3.2.1 恒参信道的数学模型	37
2.1.2 常用信号的频谱	15	3.2.2 恒参信道的两类失真	39
2.1.3 傅里叶变换的几个主要性质	16	3.3 变参信道及其对传输信号的影响	39
2.1.4 信号的分类	19	3.3.1 变参信道传输媒质的特点	39
2.1.5 Parseval 定理	19	3.3.2 多径效应分析	40
2.1.6 能量谱密度 $G(\omega)$ 与功率谱密度 $P(\omega)$	20	3.3.3 频率选择性衰落	42
2.1.7 互相关函数与自相关函数	20	3.3.4 分集接收技术	43
2.1.8 自相关函数与功率谱和能量谱		3.4 高斯白噪声	43
		3.4.1 高斯白噪声的特点	43
		3.4.2 高斯白噪声通过低通滤波	44

3.4.3 高斯白噪声通过带通滤波	44	5.3.2 增量调制的过载特性与编码 动态范围	83
3.5 信道容量	45	5.3.3 增量调制的量化信噪比	85
习题3	45	5.3.4 ΔM 系统与PCM系统的比较	85
第4章 模拟通信系统简介	47	5.3.5 改进型增量调制	87
4.1 信号的频谱搬移概述	47	习题5	88
4.1.1 信号的时域和频域描述	47	第6章 数字信号的基带传输	90
4.1.2 信号的调制与频谱搬移	48	6.1 常用数字基带信号	90
4.1.3 信号频谱搬移的作用	48	6.1.1 数字基带信号的常用码型	90
4.1.4 模拟通信系统中的三种调制 方式	49	6.1.2 HDB ₃ 码及其转换	91
4.2 振幅调制	49	6.1.3 码型转换及其硬件实现	93
4.2.1 常规调幅	49	6.2 数字基带信号的功率谱	96
4.2.2 抑制载波的双边带调幅	51	6.2.1 数字基带信号功率谱一般 表达式	96
4.2.3 单边带调幅	51	6.2.2 常用数字基带信号功率谱的 计算	96
4.2.4 残留边带调幅	53	6.2.3 数字基带信号的带宽 B	100
4.3 振幅调制信号的解调	54	6.3 数字基带传输系统	100
4.3.1 非相干解调	54	6.3.1 数字基带传输系统的基本 组成	100
4.3.2 相干解调	55	6.3.2 数字基带传输系统的数学 分析	102
4.4 超外差式调幅发射机与接收机	57	6.3.3 码间干扰的消除	103
4.5 角度调制	57	6.4 无码间串扰的数字基带传输系统	105
4.5.1 频率调制	57	6.4.1 理想低通传输系统	105
4.5.2 相位调制	58	6.4.2 无码间串扰的等效特性	106
4.5.3 单频调制	58	6.4.3 用奈氏第一准则判断是否存在 码间干扰	109
4.5.4 调频波与调相波举例	59	6.4.4 三种无码间串扰系统	112
4.6 窄带调频	59	6.5 无码间串扰时基带系统的抗噪声 性能	112
4.6.1 窄带调频信号的一般时域 表达式	59	6.5.1 双极性码的误码率	112
4.6.2 窄带调频信号的产生	60	6.5.2 单极性码的误码率	114
4.6.3 窄带调频信号的相干解调	61	6.5.3 双极性和单极性码的误码率 比较结果	115
4.7 调频信号的非相干解调	61	6.5.4 误码率与信噪比的关系	115
4.8 超外差式调频发射机与接收机	62	6.5.5 误码率与码率的关系	115
4.9 频分复用技术	63	6.6 眼图	116
4.9.1 用直接法实现频分复用	63	6.7 时域均衡原理	117
4.9.2 用复接法实现频分复用	63	6.7.1 时域均衡原理	117
第5章 模拟信号的数字传输	65	6.7.2 时域均衡的原理框图	117
5.1 概述	65	6.7.3 时域均衡的数学分析	117
5.2 脉冲编码调制	66	6.7.4 时域均衡所要达到的目标	118
5.2.1 取样定理	66		
5.2.2 量化	69		
5.2.3 编码	74		
5.2.4 PCM通信系统	77		
5.3 增量调制	81		
5.3.1 简单增量调制	81		

6.7.5 实例分析	119	8.6.1 扩展频谱通信系统分类	176
习题6	119	8.6.2 扩频通信系统的特点	178
第7章 数字调制技术	122	8.6.3 扩频通信系统的应用与发展	179
7.1 概述	122	8.7 直接序列扩频系统分析	180
7.2 数字调幅	123	8.7.1 扩频通信理论基础	180
7.2.1 2ASK 的调制与解调	123	8.7.2 理想带通系统带宽与信噪比的 互换	180
7.2.2 MASK 的调制与解调	128	8.7.3 非编码系统	181
7.3 数字调频	131	8.7.4 直接序列扩频系统的组成及工作 原理分析	182
7.3.1 2FSK 信号的调制与解调	131	8.8 多址技术简介	186
7.3.2 MFSK 信号的调制与解调	136	8.8.1 码分多址	186
7.4 二进制数字调相	138	8.8.2 混合多址技术	187
7.4.1 二进制数字调相的基本原理	138	习题8	189
7.4.2 2PSK 信号的产生	140	第9章 差错控制编码	191
7.4.3 2PSK 信号的解调	141	9.1 差错控制编码的基本概念	191
7.4.4 2PSK 信号的缺点	141	9.2 纠错码的基本原理	192
7.4.5 2PSK 信号的误码率	142	9.3 奇偶校验码	194
7.4.6 2DPSK 信号的产生	142	9.3.1 二进制按位运算规则	194
7.4.7 2DPSK 信号的解调	144	9.3.2 奇偶校验码	195
7.5 二进制数字调制性能比较	145	9.3.3 奇偶校验码小结	195
7.6 多进制数字调相	146	9.4 线性分组码	196
7.6.1 MPSK 信号的产生	146	9.4.1 (7, 4)线性分组码	196
7.6.2 MPSK 信号的解调	150	9.4.2 监督矩阵 H 和生成矩阵 G	197
* 7.6.3 循环码 16PSK 信号调制器的 逻辑设计	153	9.4.3 (7, 4)码编码电路	198
* 7.6.4 自然二进制码 16PSK 信号调制器的 逻辑设计	155	9.5 校正子 S 与纠错(译码)电路	199
* 7.6.5 自然码 16QAM 调制器的 逻辑设计	157	9.5.1 校正子 S 与纠错原理	199
7.7 数字信号的最佳接收	159	9.5.2 (7, 4)码的纠错(译码)电路	201
7.7.1 基于相关接收的最佳接收机	159	9.6 循环码	202
7.7.2 基于匹配滤波器实现的最佳 接收机	162	9.6.1 循环码及其基本性质	202
习题7	163	9.6.2 生成多项式和生成矩阵	203
第8章 伪随机序列与扩频通信	166	9.6.3 监督多项式、逆多项式和 监督矩阵	204
8.1 伪随机序列的基本概念	166	9.6.4 循环码的编码方法与编码 电路	205
8.2 m 序列的产生	167	9.6.5 循环码的译码电路与译码 原理	208
8.2.1 线性反馈移位寄存器与 m 序列	167	9.7 卷积码简介	215
8.2.2 m 序列产生器	168	9.7.1 卷积码的基本概念	215
8.3 m 序列的性质	170	9.7.2 卷积码的描述方法	216
* 8.4 m 序列的功率谱	173	习题9	219
8.5 通信系统中的干扰与抗干扰	175	参考文献	221
8.6 扩频通信技术简介	176		

第1章 绪 论

本章主要介绍现代通信技术的形成与发展、通信系统的组成、数字通信的主要优缺点、通信分类、通信方式与传输方式、信息及其度量、通信系统的主要性能指标等内容,使读者对通信系统有一个基本的了解。

1.1 现代通信概述

自古以来,人们就对通信问题进行了广泛的研究。例如,我国古代的“烽火告警”是一种最早的快速和远距离传递信息的方式。随着电报、电话和电视的发明,通信技术的发展日新月异。特别是电子计算机的迅速发展和广泛应用,以及个人计算机的普及,大大提高了人们处理信息、存储信息及控制和管理信息的能力。

20 世纪后半叶,随着计算机技术、微电子技术、传感技术、激光技术、卫星通信和移动通信技术、航空航天技术、广播电视技术、多媒体技术、新能源技术和新材料技术等新技术的发展和运用,尤其是近年来以计算机为主体的互联网技术的兴起和发展,使得通信技术得到了前所未有的迅速发展。

通信技术的发展从 1832~1835 年摩尔斯发明有线电报和 1876 年贝尔发明有线电话技术开始算起,迄今已有 100 多年的历史。20 世纪 70 年代以来,由于大规模和超大规模集成电路在通信领域内的应用,以及计算机技术与通信技术的结合,使得通信领域中的各个分支均得到了迅速发展。

现代通信的主要目的是有效而可靠地传输信息。从信息论的角度来看,通信的过程本质上是随机过程。如果通信系统中传输的信号都是确定性信号,接收者就不可能获取任何新的信息,也就失去了通信的意义。但一直到 20 世纪 30 年代末,人们在理论研究上仍然将通信的过程看成是一个确定性的过程,这显然是不符合实际情况的,主要原因是当时所依赖的数学工具是经典的傅里叶分析方法,它是有局限的。1948 年 6 月和 10 月,香农在贝尔实验室出版的《贝尔系统技术》杂志上发表了两篇有关“通信的数学理论”的论文。在这两篇论文中,他用概率测度和数理统计的方法系统地讨论了通信的基本问题,对信息的度量——熵以及信道容量作了严格的定义,得出了几个重要而带有普遍意义的结论,并由此奠定了现代通信的数学理论基础,对现代通信理论与技术的发展具有划时代的意义。

通信技术是在长期的工程实践和理论研究的基础上发展起来的。以下是具有里程碑意义的大事记:

- 1820~1830 年,法拉第发现了电磁感应定律。

- 1832 年, 莫尔斯电报系统中的高效率编码方法, 对后来香农的编码理论有所启发。
- 1832~1835 年, 莫尔斯建立了电报系统。
- 1876 年, 贝尔发明了电话系统。
- 1864 年, 麦克斯韦预言了电磁波的存在。
- 1885 年, 凯尔文研究了电缆的极限传信率问题。
- 1888 年, 赫兹用实验证明了电磁波的存在。
- 1895 年, 英国的马可尼和俄国的波波夫发明了无线电通信。
- 1907 年, 福雷斯特发明了电子管, 之后, 很快出现了远距离无线电通信。
- 1925~1927 年, 在大功率超高频电子管发明后, 建立了电视系统。
- 1922 年, 卡逊对调幅信号的频谱结构进行了研究, 并明确了边带的概念。
- 1924 年, 奈奎斯特等指出, 如果以一个确定的速度来传输电报信号, 就需要一定的带宽, 这证明了信号传输速率与信道带宽成正比。
- 1936 年, 阿姆斯特朗提出增加信号带宽可以使抑制噪声干扰的能力增强, 并给出了调制指数大的调频方式, 出现了调频通信。
- 1939 年, 达德利发明了声码器。他提出通信所需的带宽至少应与所传送的消息的带宽相同, 达德利和莫尔斯都是研究信源编码的先驱者。
- 20 世纪 40 年代初期, 由于军事上的需要, 维纳在研究防空火炮的控制问题时, 发表了名为“平稳时间序列的外推, 内插与平滑及其工程应用”的论文。他把随机过程和数理统计的观点引入通信和控制系统中来, 揭示了信息传输和处理过程的统计本质。
- 1948 年, 香农提出了信息论, 由此奠定了现代信息论与通信的理论基础, 对现代通信理论与技术的发展具有划时代的意义。

20 世纪 80 年代至 90 年代, 当各种通信系统技术发展一定程度后, 通信网就成为了一种必然趋势。网络程控化、数字化、智能化以及各种网络技术的发展, 如 ISDN 网(综合业务数字网)、国际互联网 Internet、宽带接入网技术成为了通信领域发展的新热点, 预示着现代通信技术的发展将会迈向一个新的高度。

1.2 通信系统的组成

通信的主要目的是有效而可靠地传输消息, 这些消息可以是语言、文字、符号、数据或图像等表征媒体的集合。这些消息在通信系统中是被转换成电信号的形式传送的。电信号是电压、电流或电磁场等物理量与消息内容相对应的变化形式, 我们简称为信号, 它可以用以时间 t 为自变量的某一函数关系来表示。因此, 在通信系统中必须要有将这些消息转变成电信号的装置, 我们称之为信源; 在接收端完成相反功能的装置则称之为信宿, 例如电话通信中的话筒及耳机。

信号传输需要通过信道。狭义信道指的是传输媒介, 如电缆、光纤、无线电波传播的空间等。因此, 信道也是通信系统构成中的一部分。此外, 在信道中还会引入噪声。

为了使信号能够适应信道的特性, 顺利地传送并实现有效的、高质量的通信, 在发送

端及接收端均需要有相应的发送和接收设备。针对不同的信道特性，相应的收、发设备的技术特点及实现手段是不同的。不同通信系统的差异往往很大，这样便形成了各种不同的通信系统及不同的技术体制。但不管什么样的通信系统，它们都有着共同的通信原理以及许多相同的基本技术。下面首先介绍几种基本通信系统的组成。

1.2.1 模拟通信系统的组成

传输与处理模拟信号的通信系统称为模拟通信系统，其组成框图如图 1-1 所示。

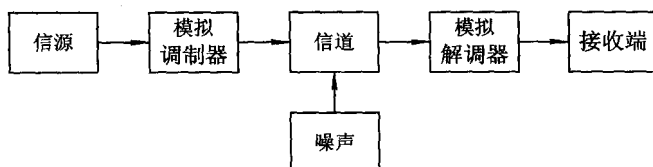


图 1-1 模拟通信系统

1.2.2 数字通信系统的组成

传输与处理数字信号的通信系统称为数字通信系统，其组成框图如图 1-2 所示。

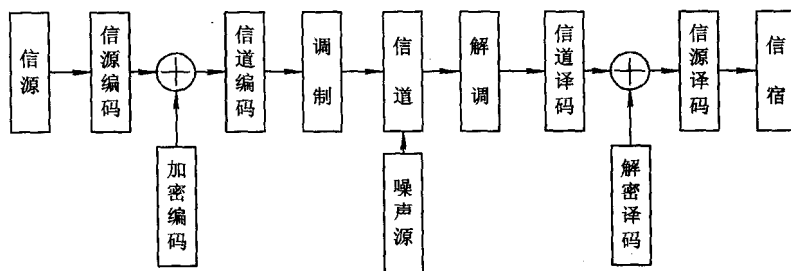


图 1-2 数字通信系统

从结构上看，数字通信系统要比模拟通信系统复杂一些。数字通信系统通常具有信源编码、信道编码及相应的译码部分。信源编码的主要功能是将模拟信号进行模/数转换并进行编码，将信号转换为数字编码信号。

所谓信道编码，是指数字信号为了适应信道的传输特性，达到高效可靠的传输而进行的相应的信号处理过程。属于信道编码范畴的技术有数字信号的差错控制编码及扩频编码，此外，还有用于通信保密的加密编码与解密译码等部分。

在实际的数字通信系统中，图 1-2 所示的各部分不一定是必须具备的。比如有的数字通信系统不特别强调安全及抗干扰性能，则该系统就可能没有加密编、译码与信道编、译码部分；有的信源原本就是数字终端，也就不需要信源编码这一部分；对于数字基带传输系统，数字编码信号是未经调制而直接送入信道的，因此没有数字调制解调部分。

1.2.3 模拟信号的数字化传输通信系统

模拟通信和数字通信在目前的应用系统中实际上是共存的，由此构成了模拟信号的数字化传输通信系统，如图 1-3 所示。

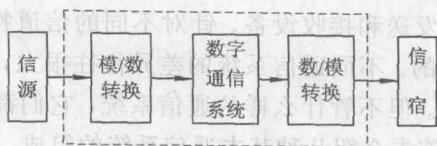


图 1-3 模拟信号的数字化传输通信系统

1.3 数字通信的主要优缺点

1.3.1 主要优点

与模拟通信相比，数字通信的主要优点有以下几个方面：

- (1) 抗干扰能力强；
- (2) 可纠错编码；
- (3) 便于数据存储；
- (4) 便于加密；
- (5) 便于数字信号处理。

其中，抗干扰能力强是数字信号的主要优点。数字信号在中继或接收端利用判决系统进行判“1”或判“0”，以实现整形和再生，只要干扰不是太大，就能恢复出原信号。而模拟信号由于是连续信号，因此一般较难恢复。

用判决系统恢复原数字信号的判决方法是：若信号电平大于判决电平，则判为“1”，若信号电平小于判决电平，则判为“0”，只要干扰不是太大，没有超出判决电平的范围，就能完全恢复出原数字信号，如图 1-4 所示。图中左边显示出了数字信号恢复的情况，右边则说明了模拟信号受到干扰后，要完全恢复出原信号是比较困难的。

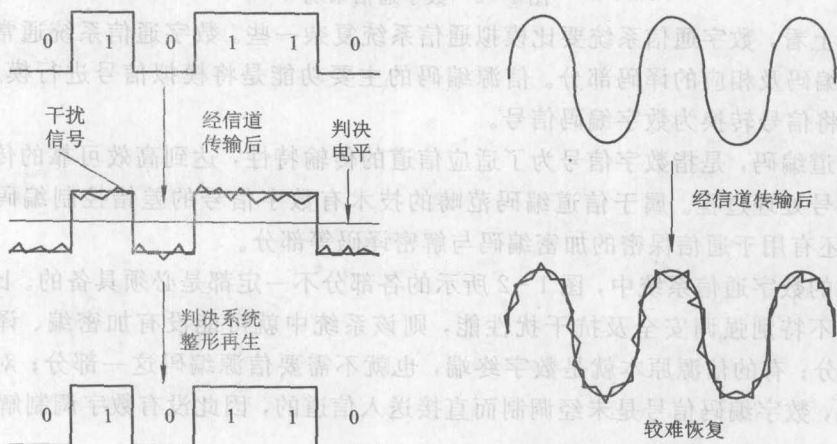


图 1-4 数字信号的抗干扰图示

1.3.2 主要缺点

与模拟通信相比，数字通信的主要缺点有以下两个方面：

- (1) 占用较宽的频带;
- (2) 需要较严格的定时与同步。

数字信号及其带宽、模拟信号及其带宽、取样信号及其编码的情况如图 1-5 所示。

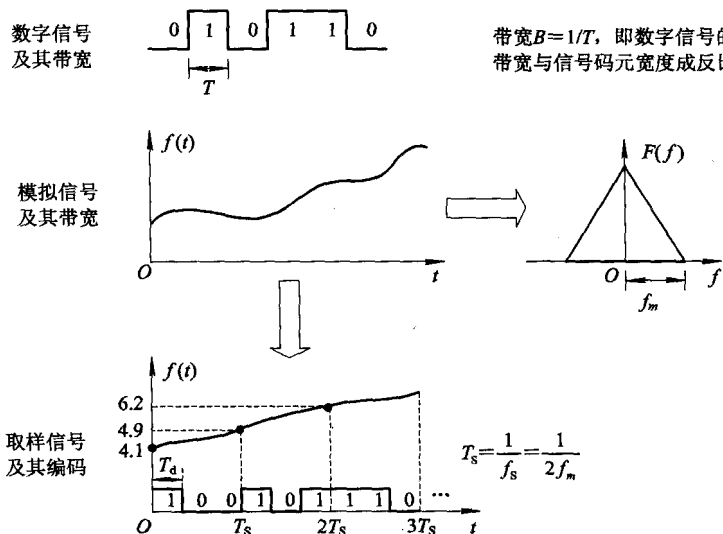


图 1-5 数字信号及其带宽、模拟信号及其带宽、取样信号及其编码的图示

根据图 1-5 可知, 经 A/D 转换后的数字信号(假设采用三位编码)的码元宽度为

$$T_d = \frac{T_s}{3} = \frac{1}{3f_s} = \frac{1}{3 \times 2f_m}$$

则数字信号的带宽为

$$B_d = \frac{1}{T_d} = 3 \times 2f_m$$

若采用 N 位编码, 则其带宽为

$$B_d = N \times 2f_m = 2Nf_m$$

例如, 设语音信号的带宽为 $f_m = 4$ kHz, 将其数字化后, 采用 8 位编码, 即 $N=8$, 则其相对应的数字信号的带宽为

$$B_d = 2Nf_m = 16f_m = 2 \times 8 \times 4 = 64 \text{ kHz}$$

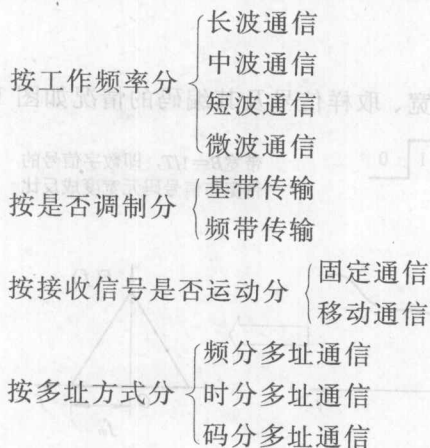
即数字信号的带宽是相对应的模拟信号带宽的 16 倍。

1.4 通信分类、通信方式与传输方式

1.4.1 通信分类

通信主要按以下几种分类:

- | | | |
|--------|---|------|
| 按传输媒质分 | { | 有线通信 |
| | | 无线通信 |
| 按所传信号分 | { | 模拟通信 |
| | | 数字通信 |



1.4.2 通信方式

通信方式可分为单工通信方式、半双工通信方式、全双工通信方式 3 种。

1. 单工通信方式

单工通信是指消息只能单方向进行传送的一种通信工作方式(如图 1-6 所示),例如目前的广播、电视等。

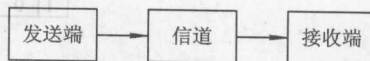


图 1-6 单工通信方式

2. 半双工通信方式

半双工通信是指通信双方都能收发信息,但接收和发送不能同时进行(如图 1-7 所示),如对讲机,收发报机等都是这种通信方式。

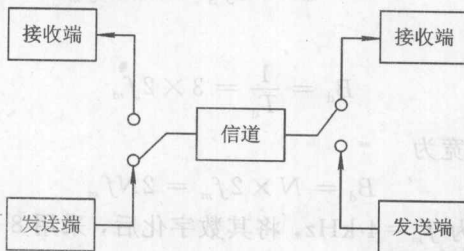


图 1-7 半双工通信方式

3. 全双工通信方式

全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输信息的工作方式,例如,普通电话和手机等。图 1-8 给出了全双工通信方式的示意图。

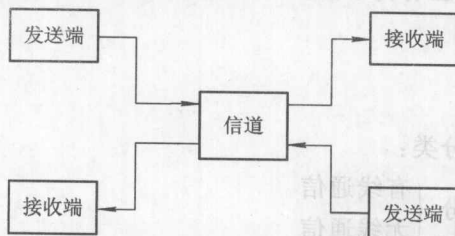


图 1-8 全双工通信方式

1.4.3 传输方式

传输方式主要有并行传输与串行传输两种。图 1-9 为这两种传输方式的示意图, 图 1-10 为利用串/并和并/串转换实现并行传输的示意图, 图 1-11 为利用串/并和并/串转换实现串行传输的示意图。

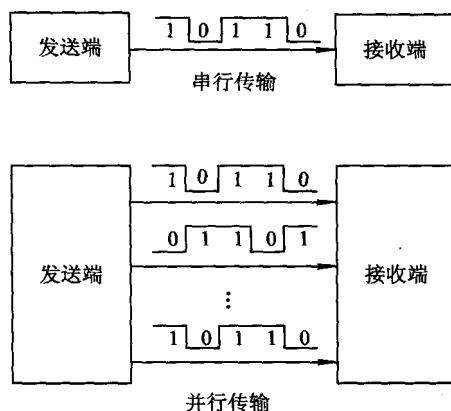


图 1-9 串行与并行传输示意图

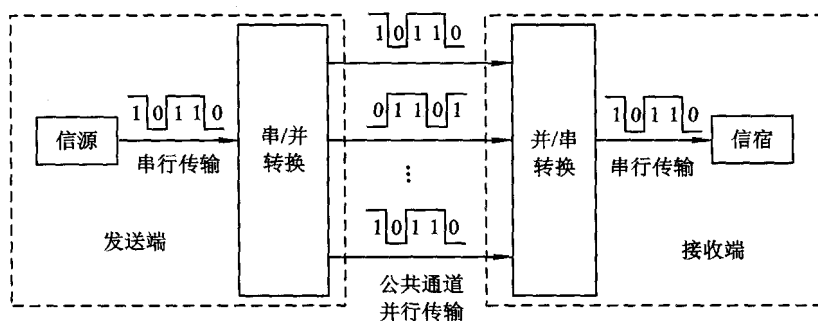


图 1-10 利用串/并和并/串转换实现并行传输的示意图

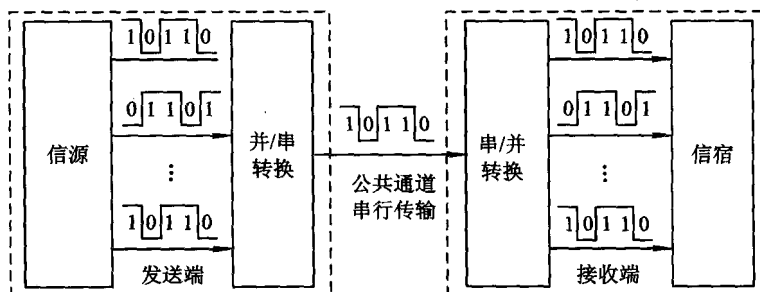


图 1-11 利用串/并和并/串转换实现串行传输的示意图

1.5 信息及其度量

1.5.1 信息的度量

根据香农(Shannon)信息理论,信息是可进行定量描述的。信息量的大小与事件出现的概率有关,有如下规律:

(1) 信息量 I 是事件出现概率 $P(x)$ 的函数,即

$$I = I[P(x)] \quad (1-1)$$

(2) 事件出现的概率越小,所含信息量越大,反之亦然。

(3) 信息量满足叠加性,即

$$\begin{aligned} I &= I[P_1(x)P_2(x)\cdots P_n(x)] \\ &= I[P_1(x)] + I[P_2(x)] + \cdots + I[P_n(x)] \end{aligned} \quad (1-2)$$

根据以上3点,可得信息量的定量表达式为

$$I = \lg \frac{1}{p(x)} \quad (\text{bit}) \quad (1-3)$$

下面举例来说明信息量的计算方法。

【例 1.1】 计算等概二进制和 M 进制传输时每个符号的信息量。

解 对于等概二进制传输,有

$$\begin{aligned} P(1) &= P(0) = \frac{1}{2} \\ I(1) &= I(0) = \lg 2 = 1 \quad (\text{bit}) \end{aligned}$$

对于等概 M 进制传输,有

$$P(1) = P(2) = \cdots = P(M) = \frac{1}{M}$$

$$I(1) = I(2) = \cdots = \lg M \quad (\text{bit})$$

若 $M=4$, 则 $I=2 \text{ bit}$; 若 $M=8$, 则 $I=3 \text{ bit}$ 。

【例 1.2】 计算非等概二进制传输时每个符号的信息量。

解 设 $P(1)=P$, $P(0)=1-P$, 则

$$\begin{aligned} I(1) &= -\lg P \quad (\text{bit}) \\ I(0) &= -\lg(1-P) \quad (\text{bit}) \end{aligned}$$

1.5.2 平均信息量

设符号概率空间为

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ p(x_1) & p(x_2) & \cdots & p(x_n) \end{bmatrix}$$

并且满足完备集