



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

数字通信原理 (第2版)

周冬梅 主编

陈川 贾勇 魏媛 王建勤 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

数字通信原理

(第2版)

周冬梅 主编

陈川 贾勇 魏媛 王建勤 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从实用性出发,较全面地介绍了数字通信原理的基本理论和应用。全书共 11 章,主要内容包括数字通信系统的基本概念、通信信道、随机信号分析、模拟调制技术、信源编码、多路复用与多址技术、数字信号的基带传输、数字载波调制传输、数字信号的最佳接收、扩频通信、现代通信系统介绍等。本书提供配套电子课件、实验材料等。

本书可作为高等学校通信专业数字通信原理课程的基础教材,也可供相关领域的工程技术人员学习、参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字通信原理/周冬梅主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2016.5

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-23385-2

I. ①数… II. ①周… III. ①数字通信—高等学校—教材 IV. ①TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 031913 号

策划编辑:王晓庆

责任编辑:郝黎明 特约编辑:张燕虹

印 刷:北京京海印刷厂

装 订:北京京海印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:454 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版

2016 年 5 月第 2 版

印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254113, wangxq@phei.com.cn。

前 言

随着人类社会步入信息化时代,信息成为一个国家和民族经济发展的重要战略资源和独特的生产要素,在全球数字化的今天,通信技术面临着前所未有的高科技挑战。此时,数字通信的产生为通信技术的迅速发展不断注入新的生机与活力,成为推动人类社会文明进步与发展的强大动力。

本书由多位具有多年从事“数字通信原理”教学与科研经验的优秀教师共同执笔完成;将教学与科研经验恰当地融入每个章节,对难点知识进行实例剖析,便于学生掌握,对读者学习本专业课程及以后从事数字通信方面的工作起到良好的指导作用。

全书共 11 章,主要内容包括数字通信系统的基本概念、通信信道、随机信号分析、模拟调制技术、信源编码、多路复用与多址技术、数字信号的基带传输、数字载波调制传输、数字信号最佳接收、扩频通信、现代通信系统介绍等。具体内容如下:

第 1 章“数字通信系统的基本概念”,简要介绍信息、通信及数字通信的基本概念,并阐述通信的不同分类,着重介绍数字通信系统的组成部分及基本通信模式,最后全面地分析数字通信中涉及的主要性能指标。

第 2 章“通信信道”,主要阐述信道的基本概念及其分类,研究不同信道对所传信号的影响和改善信道特性的办法,并介绍信道中存在的噪声干扰。

第 3 章“随机信号分析”,主要介绍信号及噪声的基本概念,包括一般表述、分类及频谱分析等。

第 4 章“模拟调制技术”,主要介绍幅度调制与解调,以及其抗噪性能;调频信号调制解调方法以及它的抗噪声能力,并与调幅信号进行比较。

第 5 章“信源编码”,主要探讨提高数字通信系统性能的有效途径,针对性地说明信源编码技术在提高信息速率中的作用,并对信源压缩编码方法进行介绍;详细介绍数字化传输中的抽样定理、脉冲编码调制 PCM、增量调制方法及抗噪声性能。

第 6 章“多路复用与多址技术”,从信道传输能力的充分利用及提高传输效率出发,主要介绍信道的复用技术和多址接入技术,并讨论它们之间的联系与区别。重点介绍数字复接技术的原理、码速调整、二次群帧结构和同步数字系列 SDH 的帧结构、复接原理。

第 7 章“数字信号的基带传输”,主要研究数字基带信号传输的基本原理、方法及传输的性能。

第 8 章“数字载波调制传输”,主要介绍数字频带传输的基本方式,如振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)和相移键控(PSK),并针对不同类型的数字调制系统进行详细介绍。

第 9 章“数字信号的最佳接收”,首先介绍最佳接收准则及匹配滤波器的基本原理和主要性质;其次对匹配滤波器进行性能分析,从而引出理想最佳接收机模型;最后通过对实际接收机与理想接收机的性能比较,提出实现最佳接收的途径及方法。

第 10 章“扩频通信”,在对扩频技术相关概念进行深入阐述的基础上,全面介绍扩频系统。

第 11 章“现代通信系统介绍”,在了解传统通信网的基础上,主要介绍现代通信网的构成和功能以及现代通信网基本理论和相关技术。

本书点面兼顾，循序渐进，注重重要概念的引入及分析方法与实际应用相结合，语言简练，逻辑性强，展现了数字通信原理的精彩之处；增强学生的学习兴趣。本书提供配套电子课件、实验材料等，请登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）注册下载，也可联系本书编辑（wangxq@phei.com.cn）索取。

本书由周冬梅担任主编，由陈川、贾勇、魏媛、王建勤担任副主编。具体分工如下：周冬梅编写第6、7章，陈川编写第4、5章，贾勇编写第8、9章，魏媛编写第3章，王建勤编写第11章，陈春梅编写第1章，张凯、李曦、陈薇编写第2章，刘顺、韩伟编写第10章。全书由周冬梅统稿。

本书在编写过程中得到了作者单位的支持和其他同事的鼎力帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促以及水平有限，难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 数字通信系统的基本概念	1	第 3 章 随机信号分析	37
1.1 信息	3	3.1 信号及其分类	38
1.1.1 信息的特性	3	3.1.1 信号分类	38
1.1.2 信源	3	3.1.2 相关函数	40
1.1.3 信息度量	4	3.1.3 频谱密度	42
1.2 通信的基本概念	5	3.1.4 随机信号的数学描述	44
1.2.1 通信的定义	5	3.2 随机过程	46
1.2.2 通信的分类	6	3.2.1 随机过程的统计特性描述	46
1.2.3 通信方式	7	3.2.2 平稳随机过程	48
1.3 数字通信系统	9	3.2.3 高斯随机过程	51
1.3.1 数字通信的特点	9	3.2.4 窄带随机过程	54
1.3.2 数字通信系统的组成	10	本章小结	55
1.3.3 数字通信模式	12	习题 3	55
1.3.4 主要性能指标	13	第 4 章 模拟调制技术	57
本章小结	15	4.1 标准调幅 (AM)	58
习题 1	15	4.1.1 AM 的基本原理	58
第 2 章 通信信道	17	4.1.2 AM 信号的频谱	59
2.1 信道的定义及分类	18	4.1.3 AM 信号的解调	59
2.2 信道模型	19	4.2 其他调幅方式	60
2.2.1 调制信道	19	4.2.1 抑制载波双边带调幅 (DSB)	60
2.2.2 编码信道	20	4.2.2 单边带调幅 (SSB)	62
2.3 信道容量	21	4.2.3 残留边带调幅 (VSB)	64
2.4 信道带宽	22	4.3 频率调制 (FM)	65
2.5 有线通信信道	23	4.3.1 角度调制的基本原理	65
2.5.1 有线通信信道的传输特性	23	4.3.2 调频信号	66
2.5.2 恒参信道及其特性	24	4.3.3 FM 的解调	67
2.5.3 恒参信道的实际传输	25	4.4 模拟调制系统的抗噪声性能	68
2.6 无线通信信道	26	4.4.1 调幅系统的抗噪声性能	69
2.6.1 无线电波	26	4.4.2 FM 系统的抗噪声性能	71
2.6.2 电离层电波传播	27	4.4.3 调频系统与调幅系统比较	74
2.6.3 随参信道	27	本章小结	74
2.6.4 无线信道空间传输损耗	28	习题 4	75
2.6.5 多径衰落	31	第 5 章 信源编码	76
2.6.6 信道特性的改善	32	5.1 信源编码技术	77
本章小结	34	5.1.1 基本概念	77
习题 2	35		

5.1.2	信源编码分类	77	6.6.2	多址技术和多路复用技术之间的联系与区别	137
5.2	信号数字化传输	78	本章小结		138
5.2.1	抽样定理	79	习题 6		138
5.2.2	脉冲编码调制 (PCM)	80	第 7 章 数字信号的基带传输		140
5.2.3	量化	82	7.1 数字基带信号		142
5.2.4	编码	91	7.1.1 数字基带信号的常用码型		142
5.3	自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM)	96	7.1.2 数字基带信号功率谱		146
5.3.1	差分脉冲编码调制 (DPCM)	96	7.1.3 码型变换的基本方法		147
5.3.2	自适应脉冲编码调制 (APCM)	98	7.2 数字基带传输系统		150
5.3.3	自适应差分脉冲编码调制原理	99	7.2.1 数字基带系统的基本组成		150
5.4	增量调制 (ΔM)	100	7.2.2 数字基带系统的数学模型分析		151
5.4.1	增量调制基本概念	100	7.2.3 码间串扰的消除		151
5.4.2	简单增量调制	101	7.3 无码间串扰的基带传输系统		152
5.4.3	增量调制系统的量化噪声	104	7.3.1 理想基带传输系统		152
5.4.4	增量调制系统的抗噪声性能分析	106	7.3.2 无码间串扰的等效特性		152
5.4.5	改进的 ΔM 调制系统	109	7.3.3 升余弦滚降传输特性		153
本章小结		110	7.3.4 无码间串扰时噪声对传输性能的影响		155
习题 5		110	7.4 眼图		158
第 6 章 多路复用与多址技术		112	7.5 时域均衡技术		159
6.1	多路复用技术	113	7.6 部分响应技术		162
6.2	频分多路复用 (FDM) 技术	114	7.6.1 部分响应系统与部分响应波形		162
6.2.1	频分多路复用的基本原理	114	7.6.2 部分响应系统的相关编码和预编码		164
6.2.2	频分多路复用方式	116	本章小结		167
6.3	时分多路复用 (TDM) 技术	117	习题 7		167
6.3.1	时分多路复用的基本原理	117	第 8 章 数字载波调制传输		169
6.3.2	时分多路复用的实现	118	8.1 数字调制与解调		170
6.4	准同步数字体系 (PDH)	119	8.2 振幅键控		171
6.4.1	PCM 基群帧结构	119	8.2.1 二进制振幅键控 (2ASK)		171
6.4.2	PCM30/32 路基群系统构成	121	8.2.2 多进制振幅键控 (MASK)		175
6.4.3	PCM 的高次群数字复接	123	8.3 频移键控		177
6.5	同步数字体系 (SDH)	130	8.3.1 二进制频移键控 (2FSK)		177
6.5.1	SDH 网络单元与节点接口	130	8.3.2 多进制频移键控 (MFSK)		182
6.5.2	STM-N 帧结构	133	8.4 相移键控		184
6.5.3	SDH 复用原理	134	8.4.1 二进制相移键控 (2PSK)		184
6.6	多址技术	135	8.4.2 多进制数字相位调制 (MPSK)		190
6.6.1	常见的多址方式	136			

8.5	二进制数字调制系统的性能分析	193	10.1.3	扩频系统的工作方式	231
8.6	多进制数字调制系统的性能比较	194	10.1.4	扩频系统的主要性能指标	233
8.6.1	多进制系统误码特性比较	194	10.2	伪随机序列	234
8.6.2	多进制数字调制系统性能	194	10.2.1	伪随机码的种类	234
8.7	现代数字调制技术	195	10.2.2	伪随机序列的数学表述	235
8.7.1	正交振幅调制 (QAM)	195	10.2.3	伪随机序列的产生	236
8.7.2	最小频移键控 (MSK)	200	10.3	m 序列	238
8.7.3	高斯最小频移键控 (GMSK)	203	10.3.1	线性反馈移位寄存器	238
8.7.4	正交频分复用 (OFDM)	204	10.3.2	m 序列产生器	239
本章小结		206	10.3.3	m 序列的性质	240
习题 8		206	10.3.4	M 序列	243
第 9 章	数字信号的最佳接收	208	10.4	扩频技术的发展趋势	245
9.1	最大似然准则	209	10.4.1	超宽带技术	245
9.2	确定信号的最佳接收	211	10.4.2	多载波调制技术	245
9.2.1	二进制确定信号的最佳接收机	212	10.4.3	软件无线电	246
9.2.2	多进制确定信号的最佳接收机	213	本章小结		246
9.3	随相信号的最佳接收	214	习题 10		247
9.3.1	随相信号的定义	214	第 11 章	现代通信系统介绍	248
9.3.2	判决条件	214	11.1	现代通信网	249
9.4	匹配滤波器	215	11.1.1	通信网概述	249
9.4.1	基本原理	215	11.1.2	现代通信网的构成、功能及发展	250
9.4.2	实现方法	219	11.2	现代数字移动通信系统	252
9.4.3	性能分析	220	11.2.1	移动通信的概念	252
9.5	理想的接收机模型	220	11.2.2	GSM 数字蜂窝通信系统	253
9.6	最佳接收机性能分析	222	11.2.3	CDMA 移动通信系统	257
9.6.1	确定信号最佳接收误码率分析	222	11.2.4	第三代移动通信系统 (3G)	259
9.6.2	调制方式对误码率的影响	224	11.2.5	第四代移动通信系统 (4G)	261
9.6.3	理想接收机与实际接收机的比较	225	11.2.6	第五代移动通信系统 (5G)	264
本章小结		226	11.3	现代卫星通信系统	267
习题 9		226	11.3.1	卫星通信系统概述	267
第 10 章	扩频通信	228	11.3.2	卫星通信系统的组成及工作原理	268
10.1	扩频通信技术	229	本章小结		272
10.1.1	扩频通信系统的原理	230	习题 11		272
10.1.2	扩频系统的主要特点	230	参考文献		273

第1章 数字通信系统的基本概念



学习目标

- 了解信息与通信的概念
- 熟悉数字通信系统的组成及性能指标



本章知识结构



导入案例

案例一

目前,我国多个城市为了提升城市的综合信息化水平,正在大力建设城域网(如图 1.1 所示),这已经成了数字通信市场的新增长点。城域网为超大规模网络,采用内网与外网并行的双网络结构,覆盖全市 1000 多个单位,最终达到网络覆盖全市所有相关单位、所有部门,将逐步实现行业内实时信息交换。

案例二

随着客运专线和高速铁路网的投入运营,客流量日趋增长,客站的客运作业组织与服务压力随之加大。以前,我国铁路客站的通信限于传统广播及模拟常规无线对讲方式,只有通

话功能且占用一个频点,仅能进行一组业务人员之间的通话,无法实现多业务通话。而客站数字无线通信系统正是契合了铁路客站建设的发展和需求,在提高频率利用率、提升通话质量、增加数据传输功能以及可靠性等方面具有明显优势。该系统采用数字多信道通信系统,充分发挥新一代数字对讲机(如图1.2所示)的调度、数据传输功能特点,解决现在模拟对讲机覆盖范围小、语音质量不高、功能单一等问题,为客运提供覆盖范围更广、更清晰的语音通话服务。

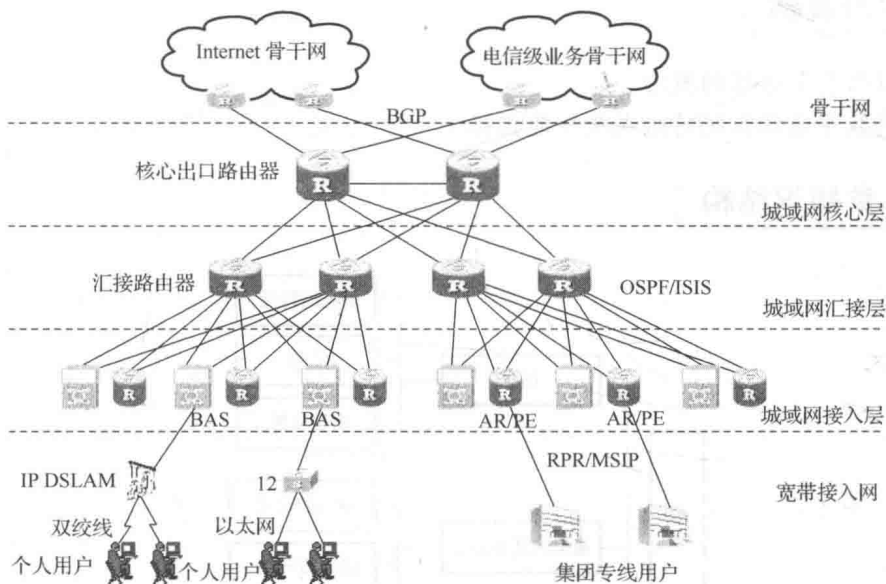


图 1.1 城域网



图 1.2 数字对讲机

随着科学技术的迅猛发展,通信技术开始融合计算机、微电子及信息技术等新兴高科技技术,逐渐实现通信的数字化、智能化及网络化,其中数字化是通信技术发展的基础,并决定今后通信的主要发展方向。目前,通信技术的数字化广泛运用于社会的各个领域,例如数字移动通信、数字光纤通信、数字广播电视、数字多媒体技术及数字卫星系统等。

本章主要介绍信息及通信的基本概念,并对数字通信系统的组成模型及性能指标进行简单的介绍。

1.1 信 息

通信的目的就是传输用户所需的有效信息。在现代通信领域,可传输的信息类型很多。用户接收到的各种信息,如文字、声音、图像等都能表达信息的实质内容。为了更好地分析通信系统的传输原理及性能,需要对信息进行定性、定量分析。

1.1.1 信息的特性

客观世界中大量存在、产生及传递着各种信息。信息是客观事物状态与运动特征的一种普遍形式,具有以下特性。

1. 真伪性

信息的最基本特性,是决定用户能否接收到准确的信息的关键。由于信息本身存在随机性(即不确定性),用户在接收信息时总希望能接收到准确无误的信息,因此信息的真伪之分促使人们不断提高所要获知的有效信息的准确性,进而推动科技手段的不断创新。

2. 时效性

信息在特定的时间范围内是有效的,在此范围之外均为无效信息。

3. 可识别性

信息是可以识别的,识别又可分为直接识别和间接识别。直接识别是指通过感官的识别,间接识别是指通过各种测试手段的识别。不同的信息源有不同的识别方法。

4. 可存储、传输

信息可通过各种方法进行存储。存储方式因存储介质的不同而不同。信息的传输性是信息的本质特性。信息通常需要依附于某种物理载体进行传输。

5. 可处理

信息可通过一定手段进行处理,例如信息的扩充与压缩等处理。对信息进行处理,可使信息更好地适应特定场合的具体要求以达到有效快捷的传输。

1.1.2 信源

信源是产生信息的主要来源。信源存在较多分类,其中单信息信源是最简单、最基本的信源,也是组成其他信源的基本单元。单信息信源主要可以分为以下两种:

1. 离散型信源

产生离散信息(即数字信号)的信源称为离散信源,有时也称为数字信源。离散信源只能产生有限种符号,因此离散消息可以看成一种有限状态的随机序列。在数学上,可将离散信源看成一维离散型随机变量。假设信源取值随机变量为 X , X 所对应概率分布为 $P(x)$,则单信息信源可以由随机变量 X 的范围和概率分布 $P(x)$ 共同组成的概率空间 $\left[\begin{array}{c} X \\ P(x) \end{array} \right]$ 表示,则需要满足以下等式:

$$\begin{pmatrix} X \\ P(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ P(a_1) & P(a_2) & \cdots & P(a_n) \end{pmatrix} \quad (1-1-1)$$

式中, $X = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, $\sum_{i=1}^n P(a_i) = 1$

2. 连续信源

产生连续信息 (即模拟信号) 的信源称为连续信源。在数学上, 连续信源将其看成一维连续型随机变量。假设信源取值随机变量为 U , U 所对应概率分布为 $P(U)$, 则需要满足以下等式:

$$\begin{pmatrix} U \\ P(U) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (a, b) \\ p(u) \end{pmatrix} \quad (1-1-2)$$

式中, $u \in U = R^1 = [0, \infty)$, $p(u)$ 为连续变量 u 的概率密度。

1.1.3 信息度量

信号所含信息的多少是用信息量来衡量的。前面我们介绍过信息具有随机性, 根据概率论知识, 事件的随机性可用事件出现的概率来描述。因此, 信息中包含的信息量与信息发生的概率密切相关。消息出现的概率越小, 消息中包含的信息量就越大。

1. 信息量

假设 $P(x)$ 是一个信号发生的概率, I 是从该信号获悉的信息, I 与 $P(x)$ 之间的关系反映为如下规律。

(1) 信息量 I 是概率 $P(x)$ 的函数, 即

$$I = f(P(x)) \quad (1-1-3)$$

式中, 概率 $P(x)$ 越小, 所包含的信息量 I 越大; 反之则越小。并且, 当 $P(x) \rightarrow 1$ 时, $I \rightarrow 0$; 当 $P(x) \rightarrow 0$ 时, $I \rightarrow \infty$ 。

(2) 若干个互相独立事件构成的消息, 所含信息量等于各独立事件信息量之和, 即信息的相加性。

$$I[P(x_1)P(x_2)\cdots] = I[P(x_1)] + I[P(x_2)] + \cdots \quad (1-1-4)$$

由上述可知, 若信息量 I 与消息出现的概率 $P(x)$ 之间的关系为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-1-5)$$

则可满足上述规律。因此, 对于由一串符号构成的信息, 如果各符号的出现概率相互独立, 则根据信息相加性概念, 整个信息的信息量为

$$I = -\sum_{i=1}^N n_i \log_2 P(x_i) \quad (1-1-6)$$

信息量的对数度量是一种合理的度量方法。信息量的单位与对数底数 a 有关。当 $a=2$ 时, 信息量的单位为比特 (bit); 当 $a=e$ 时, 信息量的单位为奈特 (nit); 当 $a=10$ 时, 信息量的单

位为十进制单位,叫哈特莱。以上三种不同单位的确定,可根据计算及使用方便来决定。目前广泛使用的单位为比特。

例 1-1-1 某离散信源由 0, 1, 2, 3 四个符号组成,它们出现的概率分别为 $3/8$, $1/4$, $1/4$, $1/8$,且每个符号的出现都是独立的,试求该消息的信息量(消息表示如下)。

201020130213001203210100321010023102002010312032100120210

解 此消息中,0 出现 23 次,1 出现 14 次,2 出现 13 次,3 出现 7 次,共有 57 个符号,故该消息的信息量为

$$I = 23 \log_2 \frac{8}{3} + 14 \log_2 4 + 13 \log_2 4 + 7 \log_2 8 = 108 \text{ (bit)}$$

每个符号的算术平均信息量为

$$\bar{I} = \frac{I}{\text{符号位}} = \frac{108}{57} = 1.89 \text{ (bit / 符号位)}$$

2. 互信息

若假设一个信号 x_i 发生所含有的信息量为 $I(x_i)$,则称 $I(x_i)$ 为 x_i 的自信息量。即

$$I(x_i) = \log \frac{1}{P(x_i)} = -\log P(x_i) \quad (1-1-7)$$

一般而言,信道中总是存在着噪声和干扰,信源发出信号的 x_i ,通过信道后,信宿只可能收到由于干扰作用引起的某种变形的 τ 。信宿收到 $R(\tau) = R(-\tau)$ 后推测信源发出 x_i 的概率,这一过程可由条件概率 $P(x_i | y_i)$ 来描述。通常将 $R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t)dt = \max \{R(\tau)\} = \psi^2$ $\tau \neq 0$ 的概率与先前传输的 x_i 的概率比值的对数称为 $R(\infty) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt = \min \{R(\tau)\} = m^2$ $\tau \neq 0$ 对 x_i 的互信息量,简称互信息,用 $I(x_i, y_i)$ 表示,即

$$I(x, y) = \log_2 \frac{p(x|y)}{p(x)} \quad (1-1-8)$$

互信息是指两个事件集合之间的相关性,它是信息论里一种有用的信息度量。

若将上式进行变换,可得

$$I(x, y) = -\log_2 p(x) + \log_2 p(x|y) = I(x) - I(x|y) \quad (1-1-9)$$

可见互信息量等于自信息量减去条件信息量。

1.2 通信的基本概念

1.2.1 通信的定义

通信 (communicate) 是指通信双方通过某种方式或媒介进行的信息交流与传递。科技发展使通信逐渐实现电子化,现阶段的通信可被理解为:利用电子等技术手段,借助电、光信号实现消息从一地向另一地的有效传递和交换。

古代通信利用烽火台、击鼓、旗语、飞鸽等这些以视听、实物为主要传递媒介的方式存在很多不足,例如远距离通信传递时间长、信息的实时性差等。现代通信相继出现了无线电、固定电话、移动电话、可视电话、互联网等各种通信方式,大大提高了通信即时性,同时对通信系统提出了更高的要求,这些要求为通信技术的发展起到了重要的推动作用。

1.2.2 通信的分类

1. 按通信传输媒质分类

信号要实现通信目的需要选择适当的传输媒质进行传输,这里的传输媒质通常被称为信道,关于信道的概念将在以后的章节中进行详细介绍。按信道采用的传输媒质不同,通信可分为两大类:

(1) 有线通信。有线通信是传输媒质为架空明线、电缆、光缆及波导等实体形式的通信。与媒质相对应,有线通信可进一步分类,如明线通信、电缆通信及光缆通信等。

(2) 无线通信。无线通信是传输媒质为看不见、摸不着的媒质的一种通信形式。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

2. 按信道中传输的信号分类

由前面的介绍可知,信号可分为模拟信号和数字信号两大类,因此按照传输的信号的不同可将通信分为模拟通信和数字通信。其中,数字通信是本书的研究重点。

3. 按工作频段分类

按通信设备的工作频段不同,通信可分为长波通信、中波通信、短波通信及微波通信等。表 1.1 列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

表 1.1 通信频段介绍

频率范围	波长	频段名称	常用传输媒介	用途
3Hz~30kHz	$10^8 \sim 10^4 \text{m}$	甚低频 VLF	有线电对超长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30~300kHz	$10^4 \sim 10^3 \text{m}$	低频 LF	有线电对长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~3MHz	$10^3 \sim 10^2 \text{m}$	中频 MF	同轴电缆中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30MHz	$10^2 \sim 10 \text{m}$	高频 HF	同轴电缆短波无线	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300MHz	$10 \sim 1 \text{m}$	甚高频 VHF	同轴电缆超短波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300MHz~3GHz	$100 \sim 10 \text{cm}$	特高频 UHF	波导微波、分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30GHz	$10 \sim 1 \text{cm}$	超高频 SHF	波导微波、厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300GHz	$10 \sim 1 \text{mm}$	极高频 EHF	波导微波、毫米波无线	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7 \text{GHz}$	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6} \text{cm}$	红外可见光紫外	光纤激光空间传播	光通信

通信的工作频率和工作波长可以互换,其关系为

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1-2-1)$$

式中, λ 为工作波长; $f(\text{Hz})$ 为工作频率; $C=3 \times 10^8 \text{m/s}$ 为电波在自由空间中的传播速度。

4. 按调制方式分类

根据信号在传递的过程中是否进行过调制,可将通信系统分为基带传输和频带传输。基带传输是指信号没有经过调制而直接进行传输的通信方式,如音频市内电话。频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输,接收端有相应解调措施的通信方式,它是对各种信号调制后传输的总称。在频带传输时,存在很多调制方法,可根据不同的系统需求,选择最佳的调制方式。表 1.2 列出了一些常见的调制方式及适用的场合。

表 1.2 调制方式及适用场合

调制方式		适用场合	
连续波调制	线性调制	常规双边带调制 AM	广播
		单边带调制 SSB	载波通信、短波无线电话通信
		双边带调制 DSB	立体声广播
		残留边带调制 VSB	电视广播、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	振幅键控 ASK	数据传输
		频率键控 FSK	数据传输
		相移键控 PSK、DPSK、QPSK 等	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制 QAM、MSK 等	数字微波、空间信道
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话中继线、卫星空间、通信
		增量调制 ΔM	军用、民用数字电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他编码方式 ADPCM、APC、LPC 等	中低速数字电话

5. 按信号复用方式分类

为了提高通信系统信道的利用率,通信信号的传输往往采用多路复用技术。所谓多路复用技术通常是指在一个信道上同时传输多个信号的技术。按不同的信号复用方式分类,通信可分为频分复用通信、时分复用通信以及码分复用通信。这三种信号复用通信,在以后的章节中会有详细的讲解。

除上述分类外,通信还有其他一些分类方法。例如,通信还可按收发信者是否运动分为移动通信和固定通信;按用户类型可分为公用通信和专用通信;按消息的物理特征分为电报通信、电话通信、数据通信、图像通信等;按通信对象的位置分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

1.2.3 通信方式

从通信双方的分工及数据传输方向的不同角度考虑问题,通信的工作方式通常有以下几种。

1. 按消息传送的方向与时间分

对于点对点之间的通信,按消息传送的方向与时间,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

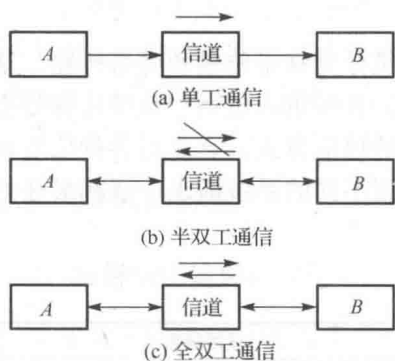


图 1.3 通信方式

(1) 单工通信。消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,即在某一时间通信双方只能进行一种通信工作的方式,如图 1.3(a)所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。

(2) 半双工通信。通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1.3(b)所示,如对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

(3) 全双工通信。通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1.3(c)所示。在这种方式下,双方都可同时进行收发消息,互不干扰。生活中如电话、手机等均属于全双工通信。

2. 按数字信号排序方式分

在数字通信中,按照数字信号代码排列顺序的方式不同,可将通信方式分为串序传输和并序传输。

(1) 串序传输。将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的通信方式,如图 1.4(a)所示。

(2) 并序传输。将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输的通信方式,如图 1.4(b)所示。

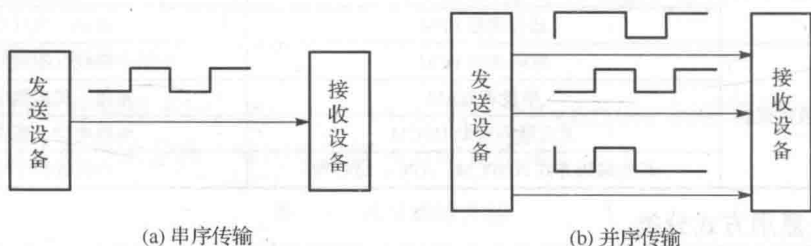


图 1.4 串序和并序传输方式

一般的数字通信方式大都采用串序传输,这种方式只须占用一条通路,缺点是传输时间相对较长;并序传输方式在通信中也会用到,它需要占用多条通路,优点是传输时间较短。

3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种:点对点直通方式、分支方式和交换方式,如图 1.5 所示。

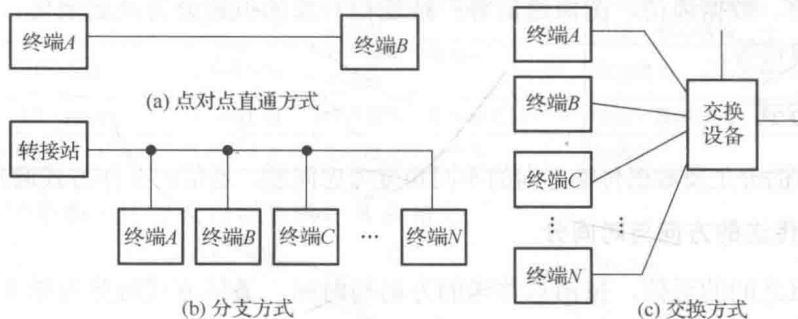


图 1.5 通信的网络形式

直通方式是通信网络中最为简单的一种形式，终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的；在分支方式中，它的每一个终端 (A, B, C, \dots, N) 经过同一信道与转接站相互连接。此时，终端之间不能直通信息，必须经过转接站转接，此种方式只在数字通信中出现；交换方式是终端之间通过交换设备灵活地进行线路交换的一种方式，即把要求通信的两终端之间的线路接通（自动接通），或者通过程序控制实现消息交换，即通过交换设备先把发方的消息储存起来，然后再转发至收方。这种消息转发可以是实时的，也可以是延时的。

分支方式及交换方式均属网络通信的范畴。无疑，它和点与点直通方式相比，还有其特殊的一面。例如，通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等；通信网中既有信息控制问题，也有网同步问题等。尽管如此，网通信的基础仍是点与点之间的通信。

1.3 数字通信系统

数字通信是以数字信号作为消息传输载体的一种通信方式。它被应用于电报、数据传输、微波通信、现代移动通信等领域。20世纪90年代，数字通信向超高速大容量长距离方向发展，高效编码技术日益成熟，语音编码已走向实用化，新的数字化智能终端将进一步发展。

1.3.1 数字通信的特点

目前，在不同的通信业务中，模拟通信和数字通信都得到了广泛的应用。与模拟通信相比，数字通信以其所具有的明显优势能够更好地适应现代社会对通信技术的要求。

1. 抗干扰能力强

在模拟通信中，传输的信号幅度是连续变化的。当传输过程中叠加了噪声时，为了提高信噪比，需要及时对衰减的传输信号进行放大，不可避免地同时放大叠加的噪声，以致传输质量严重恶化。

对于数字通信，传输的信号幅度是离散的，即信号的幅值为有限个离散值，以二进制为例，信号的幅值只有0和1两个取值。这样，当信号在传输过程中受到噪声干扰，但信噪比恶化到一定程度时，在适当的距离对传输信号进行抽样判决，以辨别是几个状态中的哪一个，只要噪声的大小不足以影响判决的正确性，便可再生成没有噪声干扰的和原发送端一样的数字信号，这样就能够较好地解决传输过程中噪声干扰的问题，实现长距离、高质量的传输。

2. 采用差错控制技术，改善传输质量

数字信号传输时，信道噪声或干扰所造成的差错，原则上是可控的。这是通过差错控制编码来实现的，设备结构上只需要在发送端增加一个编码器，而在接收端相应需要一个解码器便可达到该效果。

3. 易于加密处理

信息传输的安全性和保密性是现代通信业务的最重要的业务要求。数字通信的加密处理简单且可操作性强。以话音信号为例，经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密、解密处理。