



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

信息论与编码

隋晓红 王艳营 主 编
刘维超 主 审



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

信息论与编码

主 编 隋晓红 王艳营

副主编 王 娟

参 编 闫廷光 宋云燕 黄 萌

主 审 刘维超



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从创新型教材的思想和目标出发,以信息论与编码的理论知识为基础,融入了理论知识在实际中的应用,每章均有典型的例题,章后附有多类型的习题。为了便于教师教学使用,本书还配有完整的课件和答案。本书共分7章,主要内容包括:绪论、基本信息论、伪噪声编码、无失真信源编码、限失真信源编码、信道编码和多用户信息论。

本书适合作为高等院校电子与通信工程专业本科生、信息科学类研究生和通信专业高年级的课程教材和教学参考书,还可以作为研究生入学考试或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

信息论与编码/隋晓红,王艳营主编. —北京:北京大学出版社,2011.1

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-18352-6

I. ①信… II. ①隋…②王… III. ①信息论—高等学校—教材②信源编码—编码理论—高等学校—教材③信道编码—编码理论—高等学校—教材 IV. ①TN911.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第260492号

书 名: 信息论与编码

著作责任者: 隋晓红 王艳营 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18352-6/TP·1146

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 山东省高唐印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 12.75印张 291千字

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

定 价: 24.00元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着以计算机技术、通信技术和网络技术为代表的信息技术的快速发展,信息技术已成为当今社会应用范围最广的高新技术之一。信息论是信息技术的主要理论基础之一,它的一些基本理论在通信、计算机、网络等工程领域中得到了广泛的应用,目前,信息论研究的范畴已经超过了通信及其相近学科,在其他学科应用也很广泛。

在这种形势下,各高等院校相关专业都开设了信息论这门专业基础课,不同的高校和专业结合各自的培养方案,对信息论的内容有不同的侧重点。本书按照创新型教材“编写体例要新颖活泼,注重人文知识与科技知识的结合,注重拓展学生的知识面,以学生为本”的思想和目标,在几位教师总结多年实践教学经验的基礎上,参考多篇有关文献编写而成。本书主要具有以下特点。

- 每章开始都有教学目标和知识架构,使读者对该章的内容和侧重点一目了然;
- 强化案例式教学,每一章的开始都有案例,介绍哪些技术应用到了本章的内容或该章内容的作用;
- 每一章的最后都有知识扩展,简单介绍应用到该章内容的相关技术;
- 理论讲解简单实用,知识有条理,编码方法有步骤,易于理解;
- 重点突出,加深理解,每一章都有各种类型的自我检测题和习题。

本书共分7章:第1章绪论,介绍信息的概念、性质和分类,以及信息论研究的对象和内容,同时还介绍了信息论的建立、发展与应用;第2章基本信息论,介绍了信源的不肯定性,重点介绍了信息量、自信息量、互信息量和离散信源的熵,并介绍了连续和离散信道的信道容量;第3章伪噪声编码,介绍了伪噪声编码信号的基本概念和特性,重点介绍了L序列码和m序列码,同时简单介绍了二元正交码;第4章无失真信源编码,介绍了编码的相关概念、定长编码和变长编码,重点介绍了两种最佳编码——香农-范诺编码和霍夫曼编码,同时介绍了游程编码和算术编码;第5章限失真信源编码,介绍了限失真信源编码的失真度和失真函数及其计算方法,同时介绍了编码的具体方法;第6章信道编码,介绍了信道编码的相关概念以及检错码和纠错码的检纠错情况,同时介绍了纠正突发错误的方法;第7章多用户信息论,介绍了多用户信道和信道容量等。

本书建议教学用36~40学时,既可作为高等学校通信工程、电子信息工程及其相近学科专业的本科生教材,也可作为通信、信息、电子工程等相关专业的科研人员的参考书。

本书由黑龙江科技学院电子与信息工程学院的隋晓红、王艳营、刘维超、王娟等共同完成。隋晓红、王艳营担任主编并负责全书的统稿;刘维超担任主审工作,对全书的编写提出了许多宝贵的意见;王娟担任副主编;闫廷光、宋云燕、黄萌也参加了编写或校对工作。其中,第1、6章由隋晓红编写,第3、5、7章由王艳营编写,第2、4章由王娟编写。此外,本书参考了其他单位、同行所公开的有关文献,尽管已在参考文献中列出,但难免有疏漏,在此一并致以衷心的感谢!

由于编者水平有限,难免有疏漏和不当之处,欢迎广大读者和同行不吝指教。

编 者
2010年11月

北京大学出版社电气信息类教材书目(已出版)

欢迎选订

序号	标准书号	书名	编者	定价
1	978-7-301-10759-1	DSP 技术及应用	吴冬梅 张玉杰	26
2	978-7-301-10760-7	单片机原理与应用技术	魏立峰 王宝兴	25
3	978-7-301-10765-2	电工学	蒋 中 刘国林	29
4	978-7-301-10766-9	电工与电子技术(上册)	吴舒辞 朱俊杰	21
5	978-7-301-10767-6	电工与电子技术(下册)	徐卓农 李士军	22
6	978-7-301-10699-0	电子工艺实习	周春阳	19
7	978-7-301-10744-7	电子工艺学教程	张立毅 王华奎	32
8	978-7-301-10915-6	电子线路 CAD	吕建平 梅军进	34
9	978-7-301-10764-1	数据通信技术教程	吴延海 陈光军	29
10	978-7-301-10768-3	数字信号处理	阎 毅 黄联芬	24
11	978-7-301-10756-0	现代交换技术	茅正冲 姚 军	30
12	978-7-301-10761-4	信号与系统	华 容 隋晓红	33
13	978-7-301-10762-5	信息与通信工程专业英语	韩定定 赵菊敏	24
14	978-7-301-10757-7	自动控制原理	袁德成 王玉德	29
15	978-7-301-16520-1	高频电子线路(第2版)	宋树祥 周冬梅	35
16	978-7-301-11507-7	微机原理与接口技术	陈光军 傅越千	34
17	978-7-301-11442-1	MATLAB 基础及其应用教程	周开利 邓春晖	24
18	978-7-301-11508-4	计算机网络	郭银景	31
19	978-7-301-12178-8	通信原理	隋晓红 钟晓玲	32
20	978-7-301-12175-7	电子系统综合设计	郭 勇 余小平	25
21	978-7-301-11503-9	EDA 技术基础	赵明富 李立军	22
22	978-7-301-12176-4	数字图像处理	曹茂永	23
23	978-7-301-12177-1	现代通信系统	李白萍 王志明	27
24	978-7-301-12340-9	模拟电子技术	陆秀令	28
25	978-7-301-13121-3	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24
26	978-7-301-11502-2	移动通信	郭俊强 李 成	22
27	978-7-301-11504-6	数字电子技术	梅开乡	30
28	978-7-301-10597-5	运筹学	徐裕生 张海英	20
29	978-7-5038-4407-2	传感器与检测技术	祝诗平	30
30	978-7-5038-4413-3	单片机原理及应用	刘 刚 秦永左	24
31	978-7-5038-4409-6	电机与拖动	杨天明 陈 杰	27
32	978-7-5038-4411-9	电力电子技术	樊立萍 王忠庆	25
33	978-7-5038-4399-0	电力市场原理与实践	邹 斌	24
34	978-7-5038-4405-8	电力系统继电保护	马永翔 王世荣	27
35	978-7-5038-4397-6	电力系统自动化	孟祥忠 王 博	25
36	978-7-5038-4404-1	电气控制技术	韩顺杰 吕树清	22
37	978-7-5038-4403-4	电器与 PLC 控制技术	陈志新 宗学军	38
38	978-7-5038-4400-3	工厂供电	王玉华 赵志英	34
39	978-7-5038-4410-2	控制系统仿真	郑恩让 聂诗良	26
40	978-7-5038-4398-3	数字电子技术	李 元 张兴旺	27
41	978-7-5038-4412-6	现代控制理论	刘永信 陈志梅	22
42	978-7-5038-4401-0	自动化仪表	齐志才 刘红丽	27
43	978-7-5038-4408-9	自动化专业英语	李国厚 王春阳	32
44	978-7-5038-4406-5	集散控制系统	刘翠玲 黄建兵	25
45	978-7-5038-4402-7	传感器基础	赵玉刚 邱 东	23
46	978-7-5038-4396-9	自动控制原理	潘 丰 张开如	32
47	978-7-301-10512-2	现代控制理论基础(国家级十一五规划教材)	侯媛彬	20
48	978-7-301-11151-2	电路基础学习指导与典型题解	公茂法 刘 宁	32
49	978-7-301-12326-3	过程控制与自动化仪表	张井岗	36
50	978-7-301-12327-0	计算机控制系统	徐文尚	28
51	978-7-5038-4414-0	微机原理及接口技术	赵志诚 段中兴	38

序号	标准书号	书名	编著者	定价
52	978-7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30
53	978-7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26
54	978-7-301-12562-5	嵌入式基础实践教程	杨 刚	30
55	978-7-301-12530-4	嵌入式 ARM 系统原理与实例开发	杨宗德	25
56	978-7-301-13676-8	单片机原理与应用及 C51 程序设计	唐 颖	30
57	978-7-301-13577-8	电力电子技术及应用	张润和	38
58	978-7-301-12393-5	电磁场与电磁波	王善进	25
59	978-7-301-12179-5	电路分析	王艳红	38
60	978-7-301-12380-5	电子测量与传感技术	杨 雷 张建奇	35
61	978-7-301-14461-9	高电压技术	马永翔	28
62	978-7-301-14472-5	生物医学数据分析及其 MATLAB 实现	尚志刚 张建华	25
63	978-7-301-14460-2	电力系统分析	曹 娜	35
64	978-7-301-14459-6	DSP 技术与应用基础	俞一彪	34
65	978-7-301-14994-2	综合布线系统基础教程	吴达金	24
66	978-7-301-15168-6	信号处理 MATLAB 实验教程	李 杰 张 猛 邢笑雪	20
67	978-7-301-15440-3	电工电子实验教程	魏 伟 何仁平	26
68	978-7-301-15445-8	检测与控制实验教程	魏 伟	24
69	978-7-301-04595-4	电路与模拟电子技术	张绪光 刘在娥	35
70	978-7-301-15458-8	信号、系统与控制理论(上、下册)	邱德润 等	70
71	978-7-301-15786-2	通信网的信令系统	张云麟	24
72	978-7-301-16493-8	发电厂变电所电气部分	马永翔 李颖峰	35
73	978-7-301-16076-3	数字信号处理	王震宇 张培珍	32
74	978-7-301-16931-5	微机原理及接口技术	肖洪兵	32
75	978-7-301-16932-2	数字电子技术	刘金华	30
76	978-7-301-16933-9	自动控制原理	丁 红 李学军	32
77	978-7-301-17540-8	单片机原理及应用教程	周广兴 张子红	40
78	978-7-301-17614-6	微机原理及接口技术实验指导书	李干林 李 升	22
79	978-7-301-12379-9	光纤通信	卢志茂 冯进玫	28
80	978-7-301-17382-4	离散信息论基础	范九伦	25
81	978-7-301-17677-1	新能源与分布式发电技术	朱永强	32
82	978-7-301-17683-2	光纤通信	李丽君 徐文云	26
83	978-7-301-17700-6	模拟电子技术	张绪光 刘在娥	36
84	978-7-301-17318-3	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	丁文龙 李志军	36
85	978-7-301-17797-6	PLC 原理及应用	缪志农 郭新年	26
86	978-7-301-17986-4	数字信号处理	王玉德	32
87	978-7-301-18131-7	集散控制系统	周荣富 陶文英	36
88	978-7-301-18285-7	电子线路 CAD	周荣富 曾 技	41
89	978-7-301-16739-7	MATLAB 基础及应用	李国朝	39
90	978-7-301-18352-6	信息论与编码	隋晓红 王艳营	24

电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源下载地址: <http://www.pup6.com/ebook.htm>, 欢迎下载。
 欢迎免费索取样书, 请填写并通过 E-mail 提交教师调查表, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/教师信息调查表 excel 版.xls>, 欢迎订购。联系方式: 010-62750667, pup6_czq@163.com, lihu80@163.com, anna-xiaonan@sohu.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.3 二元联合信源的共熵与 条件熵	27
引言	2	2.6 熵速率和信道容量	28
1.1 信息的定义与性质	2	2.6.1 熵速率	28
1.2 信息的分类	3	2.6.2 信道容量	28
1.3 信息论与编码研究的内容	4	2.7 离散有噪信道中的熵速率和 信道容量	30
1.4 信息论的建立、发展与应用	7	2.7.1 平均互信息量	30
1.4.1 信息论的建立与发展	7	2.7.2 接收熵速率	31
1.4.2 信息论的应用	8	2.7.3 可疑度的物理解释	32
小结	10	2.7.4 信道容量	33
习题	10	2.8 连续有噪信道中的熵速率和 信道容量	33
第 2 章 基本信息论	11	2.8.1 接收熵速率	33
引言	12	2.8.2 信道容量	34
2.1 信息度量	12	小结	36
2.1.1 信源的不肯定性	12	自我检测题	36
2.1.2 信息量	14	习题	38
2.2 离散信源的熵	16	第 3 章 伪噪声编码	42
2.2.1 信源的分类	16	引言	43
2.2.2 熵	17	3.1 伪噪声编码概述	44
2.2.3 熵函数的性质	19	3.2 伪噪声编码信号	45
2.3 二元联合信源的共熵与条件熵	19	3.2.1 基本概念	45
2.3.1 共熵	19	3.2.2 特性	46
2.3.2 条件熵	20	3.3 狭义伪噪声码	47
2.3.3 共熵、条件熵与信源熵 三者之间的关系	20	3.3.1 L 序列码	47
2.4 信源冗余度	22	3.3.2 TP 序列码	50
2.4.1 冗余度相关概念	22	3.3.3 m 序列码	51
2.4.2 冗余度利用	23	3.4 二元正交码	54
2.5 连续信源的熵	24		
2.5.1 连续信源熵的定义	24		
2.5.2 连续信源的最大熵	26		



3.5 案例实现: m 序列发生器的设计与实现.....	57	5.4.3 预测编码.....	110
小结.....	60	5.4.4 变换编码.....	113
自我检测题.....	60	小结.....	118
习题.....	61	自我检测题.....	118
第 4 章 无失真信源编码.....	62	习题.....	119
引言.....	63	第 6 章 信道编码.....	121
4.1 信源编码概论.....	63	引言.....	122
4.2 定长编码.....	66	6.1 信道编码的基本概念.....	123
4.3 变长编码.....	69	6.1.1 编码和检纠错能力的关系.....	123
4.4 最佳编码.....	71	6.1.2 信道编码的基本原理.....	125
4.4.1 信源最佳化.....	71	6.1.3 信道编码的基本数学知识.....	127
4.4.2 码的相关定义.....	74	6.1.4 信道编码的分类.....	128
4.4.3 香农-范诺编码.....	76	6.2 检错码.....	129
4.4.4 霍夫曼编码.....	78	6.2.1 奇/偶检(校)验码.....	129
4.5 实用的无失真信源编码.....	81	6.2.2 定比码.....	130
4.5.1 游程编码.....	81	6.2.3 漏检概率.....	132
4.5.2 算术编码.....	83	6.3 用于单向信道的简单纠错码.....	133
小结.....	86	6.3.1 简单重复码.....	133
自我检测题.....	86	6.3.2 正反码.....	134
习题.....	87	6.4 汉明码.....	137
第 5 章 限失真信源编码.....	89	6.4.1 监督矩阵.....	137
引言.....	90	6.4.2 校验矩阵.....	138
5.1 失真测度.....	90	6.4.3 校验子、信息码元和监督码元之间的关系.....	140
5.1.1 失真函数.....	91	6.4.4 增余汉明码.....	142
5.1.2 平均失真度.....	92	6.4.5 生成矩阵.....	143
5.2 信息率失真函数.....	93	6.5 循环码.....	146
5.2.1 信息率失真函数的 一般概念.....	93	6.5.1 循环码的码字和多项式.....	146
5.2.2 $R(D)$ 函数的性质.....	94	6.5.2 生成多项式.....	147
5.2.3 信息率失真函数的计算.....	98	6.5.3 利用 $g(x)$ 进行循环码编码.....	149
5.3 限失真信源编码定理.....	106	6.5.4 循环码的校验子.....	150
5.4 限失真信源编码的具体方法.....	108	6.5.5 循环码的编译码电路.....	152
5.4.1 最佳标量量化.....	108	6.5.6 截短循环码.....	156
5.4.2 矢量量化.....	109	6.5.7 BCH 码.....	158
		6.6 卷积码.....	161
		6.6.1 卷积码的基本监督矩阵.....	161





6.6.2 卷积码的一致监督矩阵.....	163	第 7 章 多用户信息论.....	180
6.6.3 卷积码的生成矩阵.....	165	引言.....	181
6.6.4 卷积码编码器.....	167	7.1 多用户信道.....	182
6.6.5 卷积码的译码方法.....	170	7.1.1 多用户通信.....	182
6.7 纠正突发错误的编码.....	170	7.1.2 多用户信道的分类.....	182
6.7.1 纠正突发错误的必要性.....	170	7.2 多址接入信道.....	186
6.7.2 分组交织法.....	171	7.3 广播信道.....	188
6.7.3 哈格伯尔格码.....	172	7.4 多用户信道的编码定理.....	190
6.8 案例实现：卷积码译码器的设计	174	小结.....	191
小结.....	176	习题.....	192
自我检测题.....	176	参考文献.....	193
习题.....	177		



第1章

绪论

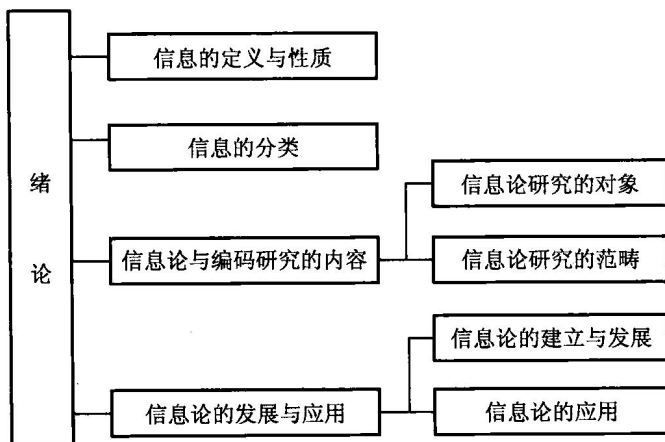


教学目标与要求

- 熟悉信息的定义
- 了解信息论研究的对象——通信系统
- 熟悉信息论研究的范畴
- 了解信息论的建立与发展
- 了解信息论在实际中的应用



知识架构





引 言

1951 年美国无线电工程学会承认信息论这门学科,此后信息论得到迅速发展,被广泛应用到许多领域。

【案例一】

密码学与密码分析学。信息论是密码学和密码分析学的一个重要的理论基础,可以用信息论的观点对信息保密问题做全面的阐述,以概率统计的方法对信息源、密钥源、接收和截获的信息进行数学描述和分析,用不确定性度量密码体制的保密性,将保密问题的研究引入科学的轨道。

【案例二】

视频编码技术。视频编码是以香农(Shannon)的经典信息论、差分脉冲编码调制(DPCM)和正交变换技术为理论基础,利用信息论中的压缩编码技术将数据中的冗余信息去掉,信息论为视频编码的实现找到了技术途径。

本章首先引出信息的概念、性质和分类,进而讨论信息论研究的对象和内容,最后简述了信息论的建立、发展及其应用。

1.1 信息的定义与性质

有人说,宇宙是一次大爆炸的产物,大爆炸产生了物质、能量和信息,它们被称为宇宙中的三要素。三者都极为重要,如果没有物质,宇宙就会变得虚无缥缈;如果没有能量,宇宙就会失去演化的动力;而如果没有信息,宇宙就会变得杂乱无章。由此可见,信息在宇宙中起着非常重要的作用。

自古以来,人们就对信息的表达、存储和传送问题进行了研究。原始人的“结绳记事”就是最初期表达、存储和传送信息的方法。古代的“烽火告警”是一种最早的快速、远距离传递信息的方式。语言和文字是人类社会用来表达和传递信息的最根本的工具。近百年来,随着生产和科学技术的发展,信息的处理、传输、存储、提取和利用的方式及手段达到了更新、更高的水平。

20 世纪后期,计算机技术、传感技术、激光技术、移动通信技术、广播电视技术和多媒体技术等新技术的发展和应用,尤其近年来以计算机为主体的 Internet 的兴起和发展,将人类社会的经济发展推向了高峰。也正是由于这些新技术的出现和发展,将人类社会推入到信息社会。

在信息社会中,“信息”这个名词应用得十分广泛,人们在各种生产、科学研究和社会活动中,无处不涉及信息的交换和利用。迅速获取信息、正确处理信息和充分利用信息,就能促进科学技术和国民经济的飞速发展。由此可见,信息在当今社会中起着举足轻重的作用。

那么,什么是信息呢?信息是个很抽象的概念,很难定义,它的例子有很多。例如,





果子熟了会呈现红色是一种信息,人们看到后就知道果子可以食用了;蜜蜂的舞蹈是一种信息,其他蜜蜂获得此信息后,就会知道附近有花蜜等。但是在日常生活中,人们往往对消息和信息不加区分,消息被认为就是信息。例如,当人们收到一封电报,接到一个电话,收听了广播或者看了电视以后,就说得到了“信息”。的确,人们可以从电报、电话、广播和电视的消息中获得各种信息,但是,信息与消息并不是一回事,不能等同。

那么,它们之间有什么关系呢?消息与信息之间是包含和被包含的关系,消息包含着信息。消息之所以会含有信息是因为它的不确定性,一个不具有不确定性的消息不含有任何的信息。因此,香农信息把信息定义为:信息是对事物运动状态或存在方式的不确定性的描述。例如,投掷硬币之前,我们对于投掷结果是正面还是反面是不确定的,投掷之后,我们得知了硬币的投掷结果,消除了不确定性,获得了信息。

但事实上,信息具有很强的主观性和实用性,同样一个消息对于不同的人常常有不同的主观价值或主观意义。例如,同一天气预报对在室外工作和室内工作的人可能会有不同的价值和意义,因此香农信息的定义在某些情况下也具有一定的局限性。

作为现代社会生存发展的第三支柱,信息具有很多的性质特征,下面列举几种。

- (1) 信息具有可度量性。虽然信息很抽象,但现在已有合理的度量方法。
- (2) 信息具有普遍性。信息在宇宙中普遍存在。
- (3) 信息具有可创造性。与能量的不能创造相比较,信息可以创造。
- (4) 信息具有无限性。在整个宇宙空间中,信息是无限的,即使在有限的空间中,信息也是无限的。
- (5) 信息具有可传递性。信息可以从一方(信源)传送到另一方(信宿),也可以从一方传到多方。
- (6) 信息具有相对性。对于同一个事物,不同的观察者所获得的信息量可能不同。
- (7) 信息具有可加工性。信息可以被压缩(信源编码),被赋予抗干扰能力(信道编码),还可以被加密,而信息的内容不发生变化。
- (8) 信息具有转化性。从潜在的意义上讲,信息是可以转化的,它在一定条件下可以转化为物质、能量和时间等。
- (9) 信息具有有序性。信息可用来消除系统的不定性,增加系统的有序性。
- (10) 信息具有共享性。同一信息可以被无限的人所获得,信息是可以共享的,信息的交流不会使交流者失去原有的信息,而且可以获得新的消息。

1.2 信息的分类

从上面分析信息的定义和性质可知,信息是一个非常复杂的研究对象,要找到一种通用的方法来描述各种各样的信息是很困难的,为了具体地描述信息,一定要把信息进行分类。对于信息的分类也是很复杂的,只能从许多角度进行分类。

- (1) 按层次分类:信息可以分为语法信息、语义信息和语用信息。
- (2) 按信息的地位分类:信息可以分为客观信息和主观信息。





- (3) 按信息的作用分类: 信息可以分为有用信息、无用信息和干扰信息。
 - (4) 按信息的传递方向分类: 信息可以分为前馈信息和后馈信息。
 - (5) 按信息的逻辑意义分类: 信息可以分为真实信息、虚假信息 and 不定信息。
 - (6) 按信息的来源分类: 信息可以分成语音信息、图像信息、文字信息、数据信息和计算信息等。
 - (7) 按信息的应用部门分类: 信息可以分成工业信息、农业信息、军事信息、政治信息、科技信息、文化信息、经验信息和市场信息等。
 - (8) 按携带信息的信号性质分类: 信息可以分成连续信息、离散信息和半连续信息等。
- 这里只列举了几种信息的分类方法, 实际上, 从来源、应用等方面还可以进行细致的分类, 所以说, 信息的分类是很复杂的。

1.3 信息论与编码研究的内容

信息论是通信学科的数学基础, 它是随着通信技术的发展而形成并发展起来的一门新兴的横断学科。信息论创立的标志是 1948 年香农发表的论文 *A Mathematical Theory of Communication*, 从诞生到现在, 虽然只有短短的 50 多年, 但它的发展对学术界及人类社会的影响是相当广泛和深刻的。如今, 信息论的研究内容不仅仅包括通信, 而且还包括所有与信息有关的自然和社会领域, 如模式识别、机器翻译、心理学、遗传学、神经生理学、语言学 and 语义学, 甚至包括社会学中有关信息的问题。

信息论研究的对象是广义的通信系统, 它把所有的信息流通系统都抽象成一个统一的模型, 如图 1.1 所示。

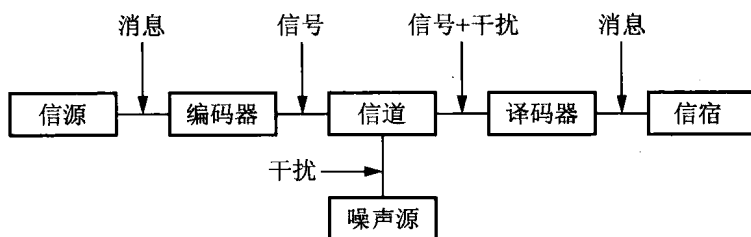


图 1.1 通信系统模型

如图 1.1 所示, 在任何一个信息流通系统中, 都有一个发出信息的发送端(信源), 有一个接收信息的接收端(信宿), 以及信息流通的通道(信道)。在信息传递的过程中不可避免地会有噪声, 所以有一个噪声源。为了把信源发出的消息变成适合在信道中传输的信号, 还需要加入编码器, 在传送到信宿之前要进行反变换, 所以要加入译码器。

通信系统主要分成以下 5 个部分。

1. 信源

信源是产生消息和消息序列的源, 它可以是人、生物、机器或其他的事物。信源是事物各种运动状态的或存在状态的集合, 例如, “各种气象状态”、“人的大脑思维活动”





等。信源的输出是消息，消息是具体的；但信源输出的消息是随机的、不确定的，有一定的规律性，因此，可以用随机变量或随机矢量等数学模型来表示信源。

2. 编码器

编码是把消息转换成信号(如电信号、光信号、声信号等)的措施，编码器输出的是适合信道传输的信号。

编码器可以分为两种：信源编码器和信道编码器。信源编码是对信源输出的消息进行适当的变换和处理，压缩信源的冗余度来提高信息传输的效率，这是为了提高通信系统的有效性，信源编码又可以分为无失真信源编码和限失真信源编码。信道编码是为了提高信息传输的可靠性而有目的地对信源编码器输出的代码组添加一些监督码元，使其具有纠错和检错的能力。例如，老师讲课时需要把知识进行加工和提炼，以提高信息传输的有效性。为了让学生听得明白，有时又需要适当地重复，只是为了提高信息传输的可靠性。

在实际的通信系统中，可靠性和有效性常常是相互矛盾的，提高有效性必须去掉信源符号的冗余部分，但是这会导致可靠性的下降。而提高可靠性就需要增加监督码元，这又降低了有效性。有时为了兼顾有效性，就不一定要求绝对准确地接收端再现原来的消息，而是可以允许一定的误差或失真，也就是说允许近似地再现原来的信息。

3. 信道

信道是指通信系统把载荷消息的信号从发送端送到接收端的媒介或通道。在狭义的通信系统中，实际的信道有明线、电缆、波导、光纤以及无线电波传播空间等，这些都属于电磁波能量的信道，对于广义的通信系统来说，信道还可以是其他的传输媒介。

信道除了传送信号外，还有存储信号的作用，如磁带、光盘或书写通信方式等。信息的传输不可避免地会引入噪声和干扰，为了分析方便，把系统所有其他部分的干扰和噪声都等效地折合成信道干扰，看成是一个噪声源产生的，并叠加于所传输的信号上，这样，信道输出的是已经叠加了干扰的信号。

4. 译码器

译码是编码的反变换，它是把信道输出的已编码的信号变成信宿能够理解的消息。译码器一般也可以分为信源译码器和信道译码器，它需要尽可能准确地再现信源输出的消息。在保密通信系统中，还应包括解密译码。

5. 信宿

信宿是消息传递的对象，即接收消息的人、机器或其他事物，信源和信宿可以处于不同的地点和不同的时刻。

关于信息论研究的具体内容是有过争议的。某些数学家认为信息论只是概率论的一个分支，当然这种看法是有一定根据的，因为香农信息论的确为概率论开拓了一个新的分支，但是，如果把信息论限制在数学范围内，就太狭义了。也有些物理学家认为信息论只是熵的理论，当然熵的概念确实是香农信息论的基本概念之一，但信息论的内容比熵的概念广泛得多。





目前,对信息论研究的内容主要理解为以下几个方面。

(1) 通信的统计理论研究。主要研究利用数学工具(概率论、数理统计等)分析信息和信息传输中的统计规律,主要内容有以下几项:

- ① 信息的度量:确定信息的测度;
- ② 信源熵和信息速率:研究信源特性及其统计平均信息量和信源的信息速率;
- ③ 信道容量:研究信道传输能力。

(2) 各种信源的统计特性研究。

- ① 文字的统计特性:文字的冗余度,即可压缩性;
- ② 语言的统计特性:语音的统计特性及可压缩性;
- ③ 图像的统计特性:图像的处理和图像的压缩形式;
- ④ 二元信源的统计特性:数值计算机中二元信息的统计特性及各种压缩算法。

(3) 生物感官的研究。

- ① 听觉特性的研究:人耳对声音频率、谐波和失真的反应;
- ② 视觉特性的研究:人眼对颜色、亮度、对比度、色饱和度的分辨以及对活动图像的反映等;

- ③ 脑思维特性的研究:人脑思维方式的分析和模拟,人脑与计算机的比较。

(4) 编码理论与技术的研究。

① 有效性编码:压缩信源的冗余,从而提高信息的传输效率,主要是针对信源的统计特性进行编码,又称为信源编码;

② 抗干扰编码:一般增加信源的冗余,用以提高信息传输的可靠性,主要是针对信道的统计特性进行编码,又称为信道编码;

③ 安全性编码:压缩信源的冗余,并将信源的明文编码成非法截取者不能识别的密文,从而提高通信的安全性,又称为加密编码。

(5) 提高信息传输效率及利用率的研究。

- ① 节省功能:如扩频通信;
- ② 频带压缩:容忍一定的失真度,从而可节省频带;
- ③ 码分复用:用有限频带资源扩充用户数;
- ④ 缩短传输时间:采用宽带高速信道,如光纤等。

(6) 抗干扰理论及相关技术的研究。

① 各种调制方式的抗干扰性能:除信道编码外,研究各种调制方式的抗干扰性能的影响;

② 理想接收机的实现:相关接收机或匹配滤波器。

(7) 噪声中信号检测理论及技术的研究。

- ① 信号检测的最佳准则:各种检测准则的研究比较;
- ② 信号最佳检测的实现:研究理论上实现的方法。

(8) 信息论与其他学科关系的研究。

- ① 与生物医学的关系:DNA 到蛋白质的通信系统;
- ② 与光学的关系:光学信息量,光量子信道的信道容量,最大熵光学图像恢复。





信息论的研究范围是很广泛的,归纳起来,它的研究内容主要包括以下3方面的内容。

(1) 狭义信息论。又称为经典信息论,主要研究信息的度量、信道容量以及信源编码和信道编码等问题。这部分内容的理论基础是香农信息论,也称基本信息论。

(2) 一般信息论。又称为工程信息论,主要研究信息的传输和处理问题。在一般信息论中也研究通信的基本理论,包括信号与噪声理论、信号过滤与检测、调制制度,抗干扰编码等问题,所以,一般信息论也可以称为通信理论。

(3) 广义信息论。广义信息论是一门综合、交叉的新兴学科,不仅包含上述两个方面的内容,而且包含所有与信息有关的自然科学和社会科学领域,如模式识别、计算机翻译、心理学、遗传学、生物学、经济学等,它也是新发展起来的光学信息论、量子信息论和生物信息论等的信息科学理论。

本书主要研究信息论的基础理论,即香农信息论的内容。

1.4 信息论的建立、发展与应用

1.4.1 信息论的建立与发展

信息论是信息科学的主要理论基础之一,它是在长期的通信工程实践和理论研究的基础上发展起来的。信息论从建立到今天,已有170多年的历史,现已成为一门独立的理论科学。回顾其发展历史,可以知道理论是如何从实践中经过抽象、概括、提高而逐步形成的。在现代科学技术高度发展过程中,信息论起着理论基础、思想先导与技术关键性的作用。

1. 香农信息论的确立

1948年到20世纪60年代,这一时期为理论的确立期,主要是对香农理论的研究与说明,包括对通信系统的数学模型、信息量、香农熵的意义与作用的说明与讨论,信源与信道编码问题的模型、本质问题与意义的讨论,信源与信道编码的编码定理及其证明,信源与信道编码的实现与应用问题等。

这一阶段工作完成的主要标志是对以上问题实现了严格的数学描述与论证。从信息的度量到通信模型、从编码问题到主要编码定理的证明都是在严格的数学定义与证明中完成的。另外,一系列专著的完成也是香农信息论确立的标志,当时重要的著作有B.AcMillan、A.Feinstein(1954)、Robert G.Gallager(1968)、J.Wolfowitz(1978)等的论著,这些著作基本上完成了对香农理论的阐述,在理论上解答了通信问题中提出的这些问题。

另外,苏联学者柯莫各洛夫、欣钦等做了许多的工作,如柯莫各洛夫和宾斯基关于信息量的研究、欣钦关于有限记忆信道的编码理论的研究、达布罗辛的一般通信系统的研究理论等,这些都是信息论早期的基础性的工作。

国内的很多学者如王寿任、江泽培、胡国定、蔡长年等也做了许多重要的工作,为信息论早期的发展做出了重要的贡献。





2. 信息论的发展

20 世纪 60~80 年代, 信息论处于理论发展期。由于香农理论的阐述与通信技术的发展, 信息论的研究范围日益扩大, 这一时期发展的主要内容在率失真理论与多用户信息论方面。

率失真理论实际上是一种在有允许误差条件下的信源编码理论, 该理论于 20 世纪 80~90 年代已成为数据压缩技术的理论基础。多用户信息论的最早思路是由香农提出的, 计算机技术和通信技术相结合的发展, 促进了网络通信的发展, 宽带综合业务数字网(B-ISDN)的出现, 给人们提供了除电话服务以外的多种服务, 使人类社会逐渐进入了信息化的时代, 多用户信息论成为这一时期信息论研究的一个主流课题, 多种不同类型的多用户信源、信道模型被提出, 许多相关的编码理论被验证。

1.4.2 信息论的应用

随着电子、通信与计算机的发展, 信息论与编码理论的研究成果不断得到应用, 典型应用如下。

1. 编码技术在快速通信领域中的应用

20 世纪 70~80 年代, 编码理论在快速通信技术中得到大量的应用, 当时的通信技术正在从低速向高速发展, 通信手段正向微波、卫星等方向发展, 因此误差干扰问题突显出来, 利用纠错码可大大降低通信中的差错率。当时的代数码, 如 BCH 码、R-S 码等为克服误差干扰发挥了重要的作用, 成为通信工程不可缺少的一个组成部分。另外, 卷积码理论当时也有重要的发展, 如卷积码的 Viterbi 译码算法产生了新一代卫星的通信技术, 成为当时信息与编码理论在工程技术中应用的一个光辉典范。

2. 在调制解调技术中的应用

20 世纪 80~90 年代, 信息编码理论应用的两项重要成果是: 调制解调理论及数据压缩理论在多媒体技术领域的应用。由 G.Ungerboeck 等在 1982 年利用格子码与软判决理论, 对高斯信道给出了调制解调码的结构与编译码算法。调制解调码的出现从根本上改变了数据通信的状况, 使调制解调码通信速度从原来的 1 200bit/s 逐步增加到 30 000bit/s。数据传输速度提高了 25 倍, 从而使现有的网络通信成为实用性的技术。

3. 信息论在数字移动通信系统中的应用

数字移动通信系统主要涉及编码和译码两种技术。移动信道是最为复杂的一种信道, 为了保证在恶劣的条件下接收信号的传输质量, 就必须采用各种抗衰落技术和数字传输技术, 如分集技术、扩频技术、均衡、交织和纠错编码等。

CDMA 2000 同时采用了卷积码和 Turbo 码两种纠错编码, 在语音和低速率、对译码时延比较苛刻的数据链路中采用卷积编码, 在逻辑信道中也采用卷积编码, 而在高速率、对译码时延要求不高的辅助数据链路中则使用 Turbo 码以便利用其优异的纠错性能。

TD-SCDMA 采用了 3 种信道编码方案以提高信息在无线信道上的传输的可靠性, 它

