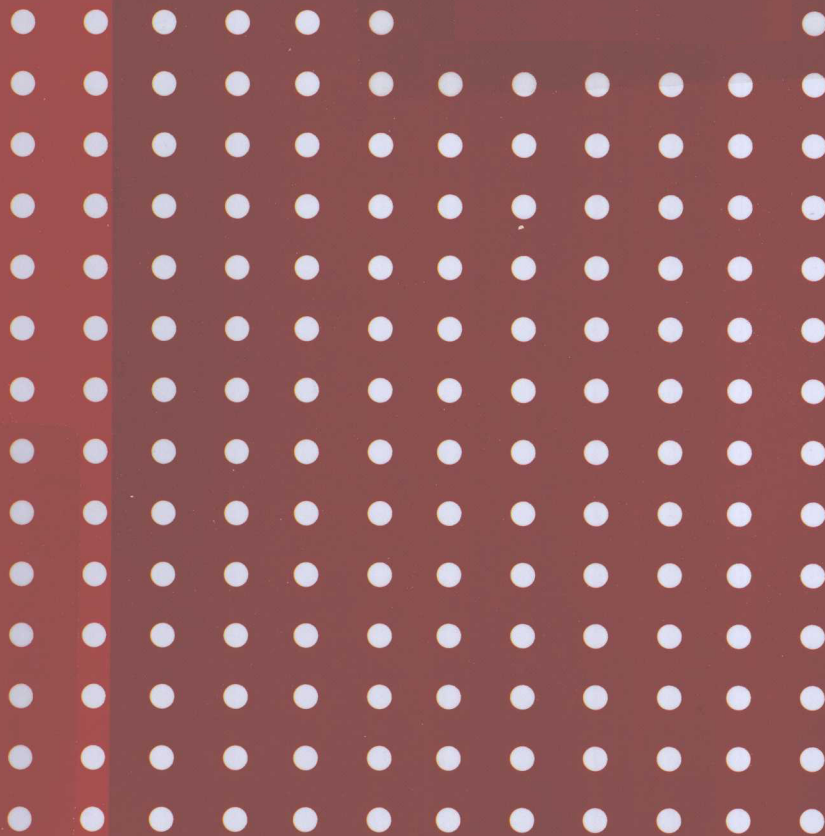


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

可下载教学资料  
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

# 信息论与编码基础教程

张丽英 王世祥 等 编著



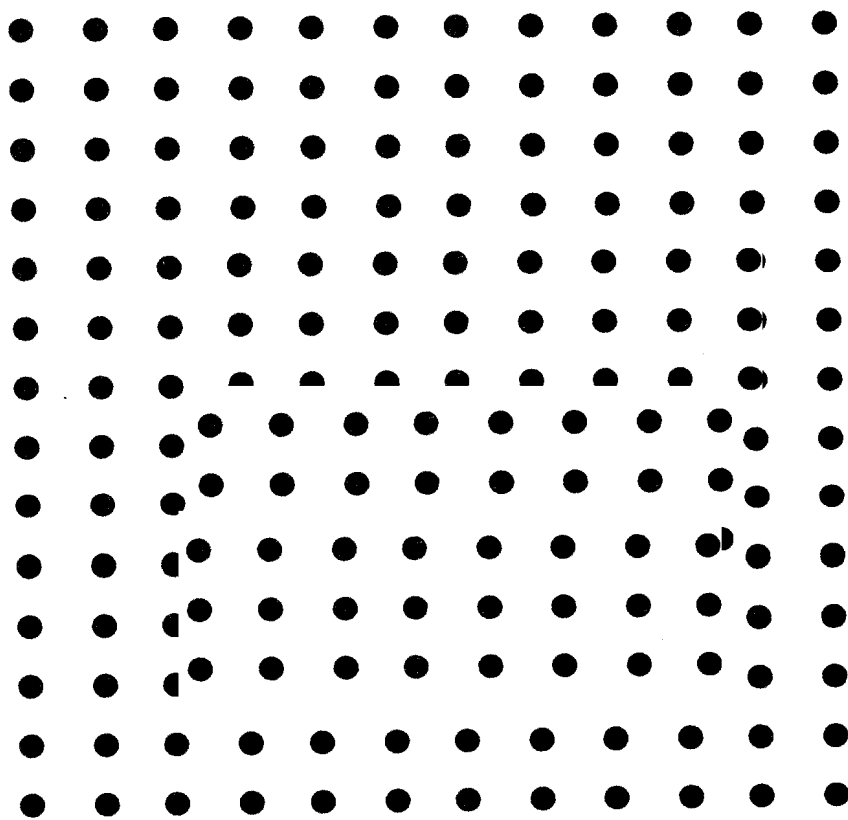
清华大学出版社



21世纪高等学校电子信息工程规划教材

# 信息论与编码基础教程

张丽英 王世祥 等 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍了信息的基本概念,信息论研究的对象、目的和内容,信息论发展简史;介绍了信息论三个基本概念(信源熵、信道容量和信息论失真函数),以及相关的编码定理(信源编码、信道编码和安全编码)。各章配有相关习题,书后还提供了仿真实验。

本书注重基本概念,思路清晰、简单明了,用通俗易懂的文字解释其物理意义,并辅以一定的例题和图示说明。本书可作为普通高等院校电子信息类、通信工程、信息与计算科学及相关专业的本科高年级学生教材,也可作为从事信息科学与技术的科研人员和工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

信息论与编码基础教程/张丽英,王世祥等编著. —北京:清华大学出版社,2010.4

(21世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-21811-1

I. ①信… II. ①张… 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 025693 号

责任编辑:梁颖 王冰飞

责任校对:焦丽丽

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.75 字 数:311千字

版 次:2010年4月第1版 印 次:2010年4月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:20.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:028839-01

# 出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等;都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21 世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为唯一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI 课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生学习兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

**21 世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会**

**联系人:魏江江 [weijj@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:weijj@tup.tsinghua.edu.cn)**

# 前 言

“信息论与编码”是门理论性很强的课程,涉及的主要内容是信息论基础和编码理论,是通信和信息类专业的主要课程之一。在教学中我们感到,所使用的教材虽然编者学术造诣高、理论全面、深刻、各有特色,但对于省属、教学型大学的学生还不是很适合。希望能有一本概念清晰、通俗易懂,既有一定理论深度又要突出实用的“信息论与编码”的教材,以适应教学型学校培养应用人才的需要。出于这样的目的我们编写了这本教材。

本书注重基本概念,思路清晰、简单明了,用通俗易懂的文字解释其物理意义,并辅以一定的例题和图示说明,对成熟的定理不再加以证明。在第8章中引入了利用MATLAB进行实验仿真的内容,联系当前实际通信技术讲述,以提高学生对本课程的理解和对课程内容的兴趣。本书介绍了信息的基本概念,信息论研究的对象、目的和内容,信息论发展简史;介绍了信息论三个基本概念(信源熵、信道容量和信息论失真函数),以及相关的编码定理(信源编码、信道编码和安全编码)。本书结合教学内容,增加了一些例题,以及难易适当的习题和仿真实验。目录中带“\*”号部分为选修部分。

本书可作为普通高等院校电子信息类、通信工程、信息与计算科学及相关专业的本科高年级学生教材,也可作为从事信息科学与技术的科研人员和工程技术人员的参考用书。

本书共8章,第1章、第2章由张丽英编写,第3章及附录由陈菲编写,第4章由肖冰编写,第6章由王世祥编写,第5章、第7章由张猛编写,第8章仿真实验由张万里制作。全书由张丽英、王世祥审阅统稿。

由于编者的水平有限,书中不妥或谬误之处难免,殷切希望读者指正。

作 者

2009年11月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 信息论发展简史 .....	1
1.2 信息论研究的目的是本书主要内容 .....	2
1.3 信息论的概念及常用术语 .....	3
1.4 通信系统的模型 .....	5
小结 .....	7
习题 .....	7
<b>第 2 章 信源及信源熵</b> .....	8
2.1 信源及分类 .....	8
2.2 单符号离散信源 .....	9
2.2.1 单符号离散信源的数学模型 .....	9
2.2.2 自信息量 .....	10
2.2.3 信源熵 .....	13
2.2.4 信源熵的基本性质和定理 .....	17
2.2.5 互信息量 .....	19
2.2.6 数据处理中信息的变化 .....	23
2.3 多符号离散信源 .....	23
2.3.1 离散无记忆序列信源 .....	24
2.3.2 离散有记忆平稳信源 .....	26
2.3.3 马尔可夫信源 .....	28
2.4 连续信源 .....	32
2.4.1 连续信源熵 .....	32
2.4.2 连续熵的性质 .....	33
2.4.3 最大熵定理 .....	34
2.5 冗余度 .....	34
2.5.1 冗余度定义 .....	34
2.5.2 冗余度来源 .....	35
小结 .....	36
习题 .....	39

<b>第 3 章 信息率失真函数</b> .....	41
3.1 基本概念 .....	41
3.1.1 失真函数(失真度) .....	41
3.1.2 平均失真度 .....	42
3.1.3 信息率失真函数 $R(D)$ .....	45
3.1.4 信息率失真函数的性质 .....	45
3.2 离散信源的 $R(D)$ 计算 .....	48
* 3.3 连续信源的 $R(D)$ 计算 .....	51
小结 .....	54
习题 .....	55
<b>第 4 章 信源编码</b> .....	57
4.1 数据压缩概述 .....	57
4.2 无失真信源编码的基本原理 .....	58
4.2.1 信源编码器 .....	58
4.2.2 码的类型 .....	59
4.2.3 基本概念 .....	60
4.2.4 等长编码定理 .....	63
4.2.5 变长编码定理 .....	66
4.3 无失真信源编码方法 .....	68
4.3.1 香农编码 .....	68
4.3.2 费诺编码 .....	69
4.3.3 哈夫曼编码 .....	70
4.3.4 游程(Run-length)编码 .....	76
4.3.5 算术编码 .....	77
* 4.4 限失真信源编码定理 .....	80
4.4.1 保真度准则下信源编码定理 .....	80
4.4.2 信息、传输定理(联合有失真信源编码定理) .....	81
* 4.5 限失真信源编码方法 .....	81
4.5.1 预测编码 .....	81
4.5.2 变换编码 .....	83
小结 .....	86
习题 .....	87
<b>第 5 章 信道及信道容量</b> .....	90
5.1 信道分类 .....	90
5.2 离散单符号信道及容量 .....	91
5.2.1 数学模型 .....	91



5.2.2	信道容量 .....	92
5.3	离散序列符号信道及容量 .....	103
5.4	信源与信道的匹配 .....	106
*5.5	连续信道及其容量 .....	107
*5.5.1	连续单符号加性信道 .....	107
*5.5.2	多维无记忆加性连续信道 .....	108
*5.5.3	加性高斯白噪声波形信道 .....	110
小结	.....	112
习题	.....	113
<b>第 6 章</b>	<b>信道编码 .....</b>	<b>115</b>
6.1	信道编码概念 .....	115
6.1.1	译码规则 .....	115
6.1.2	编码规则 .....	117
6.1.3	纠错编码的基本原理 .....	118
6.2	线性分组码 .....	120
6.2.1	线性分组码的编码 .....	120
6.2.2	线性分组码的译码 .....	122
6.2.3	汉明码 .....	124
6.3	循环码 .....	127
6.3.1	循环码的定义和结构 .....	127
6.3.2	循环码的生成矩阵和校验矩阵 .....	128
6.3.3	循环码的编码器 .....	129
6.3.4	循环码的译码器 .....	131
6.3.5	BCH 码简介 .....	132
6.4	卷积码 .....	132
6.4.1	卷积码的基本概念 .....	132
6.4.2	卷积码的生成矩阵与生成序列 .....	133
6.4.3	卷积码的状态转移图与网格图 .....	135
6.4.4	卷积码的译码概述 .....	136
6.4.5	维特比译码算法 .....	136
小结	.....	138
习题	.....	140
<b>*第 7 章</b>	<b>密码技术 .....</b>	<b>143</b>
*7.1	密码的基本知识 .....	143
*7.1.1	密码学简介 .....	143
*7.1.2	理想的保密性 .....	144
*7.2	信息加密技术 .....	147

*7.2.1 对称密码体制 .....	147
*7.2.2 公钥(非对称)密码体制 .....	154
*7.3 信息认证技术 .....	157
*7.3.1 信息认证算法 .....	157
*7.3.2 数字签名 .....	160
*7.4 网络通信的信息安全技术 .....	162
*7.4.1 密钥管理和分配 .....	162
*7.4.2 Internet 的信息安全 .....	165
小结 .....	168
习题 .....	169
<b>第 8 章 仿真实验 .....</b>	<b>170</b>
8.1 基础知识 .....	170
8.1.1 MATLAB 基本命令 .....	170
8.1.2 Simulink 的常用基本模块 .....	171
8.2 实验 .....	172
小结 .....	181
<b>附录 A 相关知识 .....</b>	<b>182</b>
<b>附录 B 部分习题答案 .....</b>	<b>185</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>192</b>

# 第 1 章 绪 论

信息论(Information Theory)是通信中的数学理论,是研究信息传输、存储和处理的科学,它回答了两个根本问题:(1)数据压缩可以达到何种程度(无损压缩受到熵的限制,而有损压缩受到信息率失真理论的制约)。(2)通信系统的最大信息传输速率是多少(不会超过信道容量)。信息论主要讨论存在性问题,具有重要的指导意义和实际意义。随着科学技术的发展,信息论在实际应用中的作用日益重要。

本章主要介绍了信息论发展简史、信息论研究的目的和内容、信息论的概念及常用术语以及通信系统的模型。通过学习本章内容,可使我们对信息论的建立、发展,信息的基本概念及应用有一个初步的认识和理解。

## 1.1 信息论发展简史

人类从产生那天起,就生活在信息的海洋中,人类社会的生存和发展一时一刻也离不开接收信息、传递信息、处理信息和利用信息。我国古代“烽火告警”是一种最早快速、远距离传递信息的方式;而造纸术和印刷术的发明,使信息的表示和存储方式产生了一次重大的变化;特别是电报、电话和电视的发明,再次导致了信息加工和传输的革命;近代电子计算机的迅速发展和广泛应用,大大提高了人们处理信息、加工信息、存储信息及控制管理信息的能力;20世纪后半叶,计算机技术、微电子技术、传感技术、激光技术、卫星通信技术、移动通信技术、航空航天技术、广播电视技术、多媒体技术、网络技术、新能源、新材料等新技术的应用,将人类社会推到了一个高度信息化的时代。随着社会信息化进程的加速,人们对信息的依赖程度会越来越高。一位美国科学家在诗中这样描述:没有物质的世界是虚无的世界,没有能源的世界是死寂的世界,没有信息的世界是混乱的世界。可见信息的重要性。

20世纪40年代,人们就开始认识到信息的客观存在,并建立了研究信息的学科——信息论。信息论被称为通信的数学理论,是在长期的通信工程实践中与概率论、随机过程和数理统计这些数学学科相结合而逐渐发展起来的一门新兴学科。

信息的早期定义由奈奎斯特(Nyquist H.)和哈特利(Hartley L. V. R.)在20世纪20年代提出;1924年奈奎斯特解释了信号带宽和信息速率之间的关系;1928年哈特利研究了通信系统传输信息的能力,提出了信息度量方法;1936年阿姆斯特朗(Armstrong E. H.)提出增大带宽可加强抗干扰能力的理论。这些研究工作都给香农(Shannon C. E.)带来了很大的影响,他在1941—1944年对通信和密码进行了深入的研究,并用概率论的方法研究了通信系统,得出了几个重要而具有普遍意义的结论。从而揭示了通信系统传递的对象就是信息,并对信息给以科学的定量描述,提出了信息熵的概念,指出了通信系统的中心问题是在噪声下如何有效而可靠地传送信息,实现这一目标的主要方法是编码,等等。这一

成果于 1948 年以“通信的数学理论”(A *Mathematical Theory of Communication*)为论文题目公开发表,这是一篇信息论开创性的权威论文,为信息论理论建立了基础。

随着研究的深入和发展,信息论有了更为宽广的内容。1951 年,美国无线电工程师协会(Institute of Radio Engineers, IRE)成立了信息论组,并于 1955 年正式出版了信息论汇刊。包括香农本人在内的一些科学家做了大量工作,发表了许多重要文章,使信源和信道编码理论有了较大的发展。香农在 1948 年的论文中提出了无失真信源编码定理,给出了简单的编码方法——香农码。1952 年费诺(Fano R. M.)和哈夫曼(Huffman D. A.)分别提出了各自的编码方法,并证明了自己的方法都是最佳编码法。1959 年,香农在发表的“保真度准则下离散信源编码定理”(Coding Theorems for a Discrete Source with a Fidelity Criterion)一文中,系统地提出了信息率失真理论和限失真信源编码定理。这两个理论是数据压缩的数学基础,为各种信源编码的研究奠定了基础。

在 20 世纪 60 年代,信道编码技术有了较大发展,成为信息论的又一重要分支,它把代数方法引入到纠错码的研究中,使分组码技术水平达到了高峰,找到了可纠正多个错误的码,提出了可实现的译码方法;同时卷积码和概率译码也有了重大突破。1961 年,香农的“双路通信信道”(Two-way Communication Channels)论文开拓了多用户信息理论的研究。到 20 世纪 70 年代,有关信息论的研究,从点对点的单用户通信推广发展到多用户系统的研究。1972 年,T. Cover 发表了有关广播信道的研究,以后陆续进行了有关多接入信道和广播信道模型和信道容量的研究。近三十多年来,对这一领域的研究十分活跃,大量的论文被发表,使多用户信息论的理论日趋完整。近几年,随着计算机技术和超大规模集成电路技术的发展,对信道编码(如 Turbo 码、LDPC 等编译码)的研究取得了重大突破。Turbo 码和 LDPC 采用了长码、交织技术、迭代译码技术进行编译码,从而提高了编码效率和纠错能力。

目前,信息论不仅在通信、广播、电视、雷达、导航、计算机、自动控制、电子对抗等电子学领域得到了直接应用,还广泛地渗透到医学、生物学、心理学、神经生理学等自然科学,甚至语言学、美学等领域;美国经济学家马克·波拉特(Porat M.)在《信息经济》报告中就用信息论的基本概念研究了经济现象和社会现象,将信息论的研究从自然科学领域正式移植到经济学和社会科学领域。随着量子理论的发展,又形成了量子信息论,信息论已成为一门涉及范围极广的信息科学。

## 1.2 信息论研究的目的是本书主要内容

### 1. 信息论研究的目的

高效、可靠、安全并且随心所欲地交换和利用各种各样的信息。

### 2. 本课程主要研究的内容

- (1) 离散信息的度量与离散信源。
- (2) 连续信息的度量与连续信源。
- (3) 信息率失真函数。

- (4) 无失真信源编码和限失真信源编码。
- (5) 离散无记忆信道容量。
- (6) 加性高斯白噪声(AWGN)信道容量。
- (7) 有噪信道编码定理。
- (8) 差错控制编码。
- (9) 密码技术。

## 1.3 信息论的概念及常用术语

信息是一个既抽象又复杂的概念,这一概念与其他在实践中提出来的科学概念一样,是在人类社会实践过程中产生的。信息的概念十分广泛,有一百多种不同的定义,例如,信息是事物之间的差异、信息是事物联系的普遍形式、信息是物质和能量在时间和空间中分布的不均匀性、信息是物质的普遍属性、信息是收信者事先所不知道的报道、信息是用以消除随机不确定性的东西、信息是负熵、信息是作用于人类感觉器官的东西、信息是通信传输的内容、信息是加工知识的原材料、信息是控制的指令、信息就是数据、信息就是情报、信息就是知识,等等。我们这里所涉及的定义,主要以香农提出的定义为准。

### 1. 信息论的定义

#### (1) 狭义信息论(又称为香农信息论)

**定义 1-1** 信息论是在信息可以度量的基础上,有效地和可靠地传递信息的科学,它涉及信息的度量、信息的特性、信息传输速率、信道容量、干扰对信息传输的影响等方面的知识。

#### (2) 广义信息论

**定义 1-2** 信息论包括对通信的全部统计问题的研究、香农信息论、信号设计、噪声理论、信号检测与估值等,还包括如医学、生物学、心理学、遗传学、神经生理学、语言学甚至社会学和科学管理学中有关信息的问题。

### 2. 信息、消息、信号及其区别

#### (1) 信息

**定义 1-3** (香农)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,在收发手机短信过程中,收信人事先并不知道谁发的短信,也不知道短信的内容是什么,而只有当收到短信后(如看到“母病愈”的短信内容),才知道该短信的内容是关于母亲的健康情况的。对母亲健康状况会有不同的描述,到底什么状况是随机的和变化的;收信人事先并不知母亲的身体健康状况如何,存在着不确定性。只要短信内容清楚,传递过程中没有出现差错,收到短信后,原来所有的不确定性都没有了,他就获得了信息。信息的基本概念在于它的不确定性,任何确定的事物都不会有信息。

#### (2) 消息

**定义 1-4** 用文字、符号、数据、语言、音符、图片、图像等能够被人们感觉器官所感知的

形式,把客观物质运动和主观思维活动的状态表达出来就成为消息。

例如,听气象广播“晴转多云”,广播语言是对气象状况的具体描述;上述短信中“母病愈”的短信内容,也是对母亲健康状况的一种描述;从电视上看球赛,播放的图像是对运动状态的描述。可见,能把客观物质运动和主观思维活动状态表达出来的就成为消息。消息包含信息,消息是信息的载体,但不是物理性的。

### (3) 信号

**定义 1-5** 消息被转换成适合信道传输的物理量(如电信号、光信号、声信号、生物信号等),这种物理量就被称为信号。

例如,在短信的传递过程中,“母病愈”→脉冲电信号→调制→信道中传输→解调→反变换→“母病愈”,信号到接收端经处理后变为文字,人们从中得到信息。可见信息包含在信号之中,信号是信息的载体,是物理性的。

## 3. 信息的可靠性、有效性、保密性和认证性

(1) 可靠性。使信源发出的消息经过信道传输以后,尽可能准确、不失真地再现在接收端。

(2) 有效性。用尽可能短的时间和尽可能少的设备来传送一定数量的信息。

(3) 保密性。隐蔽和保护通信系统中传送的消息,使它只能被授权接收者接收,而不能被未经授权接收者接收和理解。

(4) 认证性。接收者能正确判断所接收的消息的正确性,能够验证消息的完整性,能够验证消息不是被伪造和篡改的。

## 4. 信息的特征

(1) 信息是新知识和新内容。

(2) 信息是能使认识主体对某一事物的未知性或不确定性减少的有用知识。

(3) 信息可以产生,也可以消失,同时信息也可以被携带、储存及处理。

(4) 信息可以被度量。

## 5. 信息的分类

(1) 按信息的性质分类:语法信息、语义信息和语用信息。

(2) 按观察过程分类:实在信息、先验信息和实得信息。

(3) 按信息的地位分类:客观信息(效果信息和环境信息)和主观信息(决策信息、指令信息、控制信息和目标信息)。

(4) 按信息的作用分类:有用信息、无用信息和干扰信息。

(5) 按信息的逻辑意义分类:真实信息、虚假信息 and 不确定信息。

(6) 按信息的传递方向分类:前馈信息和反馈信息。

(7) 按信息的生成领域分类:宇宙信息、自然信息、思维信息和社会信息。

(8) 按信息的信息源性质分类:语言信息、图像信息、数据信息、计算信息和文字信息。

(9) 按信息的信号形成分类:连续信息、离散信息和半连续信息。

还可以按信息的应用部门、载体性质等分类。在众多的分类原则和方法中,最重要的就

是按照信息性质分类。香农信息论主要讨论的是语法信息中的概率信息。

## 1.4 通信系统的模型

目前较常用、较完整的通信系统物理模型如图 1-1 所示。

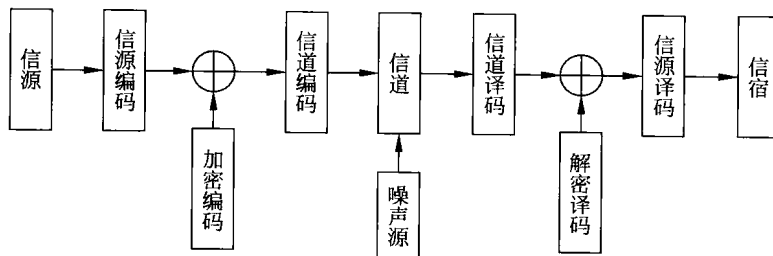


图 1-1 通信系统物理模型

### 1. 信源

信源，即信息源，是产生消息和消息序列的源，可以是人、生物、机器或其他事物。

信源输出的是消息，但不是消息本身，消息携带着信息。信源本身十分复杂，在信息论中仅研究信源的输出。信源归纳起来有两种形式：离散消息，如字母、文字、数字等符号组成的符号序列或单个符号；连续消息，如话音、图像、在时间上连续变化的电参数等。

信源可能出现的状态（即信源输出的消息）是随机的和不确定的，但有一定的规律性。

信源的核心问题是：它包含的信息到底有多少？怎样将信息定量地表示出来？即如何确定信息量的问题。

### 2. 信源编码

信源编码是把信源发出的消息变换成由二进制码元组成的代码组，即基带信号。

信源编码的目的：压缩信源的冗余度，提高通信系统的传输效率。

信源编码可分为无失真信源编码和限失真信源编码，前者用于离散信源或数字信号，后者主要用于连续信源或模拟信号。

### 3. 加密编码

加密编码（密匙源）是将信源编码器输出的信号经过密匙的加密运算后，把明文变换为密文。

加密编码目的：为了满足通信网络信息安全的需要；没有掌握密匙的窃听者，很难从窃听的信号中解出明文；在信息传递过程中，可以防止信息被伪造和篡改。

### 4. 信道编码

信道编码是在信源编码器输出的代码组上有目的地增加一些监督码元，使之具有纠错和检错的能力。

信道编码目的：提高传输消息的可靠性，包括调制解调和纠错检错编译码。信道编码方法是增大码率或频带，即增大所需信道容量，与信源编码相反。

### 5. 噪声源

为了分析方便起见，把在系统其他部分产生的干扰和噪声都等效地折合成信道干扰，看成是由一个噪声源产生的，它将作用于所传输的信号上，用于在信道中引入噪声和干扰；信道输出的是已叠加了干扰的信号。

噪声或干扰具有随机性，故信道的特性可以用概率空间来描述，而噪声源的统计特性又成为划分信道的依据。

信道中的干扰常使通信质量下降，对于模拟信号，表现在收到的信号的信噪比下降；对于数字信号，表现为误码率增大。

### 6. 信道

信道指通信系统把载荷消息的信号从甲地传输到乙地的媒介。在狭义通信系统中，实际信道有明线、电缆、波导、光纤、无线电波传播空间等（都用于传播电磁波能量）；在广义通信系统中，信道还可以是其他的传输媒介。

信道除了传送信号以外，还有存储信号的作用，如书写的通信方式。

信道的核心问题是能够传输多少信息，即信道容量的问题。

### 7. 信宿

信宿是消息传送的对象，即接收消息的人或机器。

信宿接收的消息，其形式可以与信源的输出消息相同，也可以不同；当两者不同时，信宿就是信源的一个映射。

信宿的核心问题是能收到或提取多少信息。

### 8. 信源译码、解密译码和信道译码

信源译码、解密译码和信道译码这三者的作用分别是信源编码、信源加密和信道编码的反变换。

**注意：**

(1) 图 1-1 给出的模型只适用于收发两端单向通信的情况，只有一个信源和一个信宿，信息传输也是单向的。更一般的情况是信宿和信源各有若干个，即信道有多个输入和多个输出，信息传输也可以是双向的，例如，广播通信采用的是单输入多输出通信方式，卫星通信网采用的是多输入多输出和多向传输的通信方式。

(2) 研究这样一个概括性很强的通信系统的目的，就是要找到信息传输过程中的共同规律，以提高信息传输的可靠性、有效性、保密性和认证性，从而达到信息传输系统最优化。

(3) 不是所有的通信系统都采用图 1-1 所示的那样全面的技术，例如，点对点的有线电话只需一对电话机和一条电话线路（铜线）即可，话音基带信号通过电话机变为相应的电信号（模拟信号），即在电话线上传送，接收端的电话机再把电信号恢复成人耳能听到的话音；



如果是点对点的无线电话,需要在发送端加一台发射机,将模拟信号调制到射频上,再用大功率发射机经天线发射出去,经无线信道传输,接收端的收音机把收到的调制射频信号解调恢复为发送端的原始话音;如系统需保密则可在系统中增加加密和解密装置,就构成了无线保密通信系统;如传输中干扰大、信道容量有限,则需使用信源编码和信道编码技术,以提高传输消息的有效性和可靠性。

## 小结

信息论作为一门学科开始于香农(Shannon)1948年发表的论文“通信中的数学问题”(A *Mathematical Theory of Communication*)。通过后来人的不断努力,发展成今天的信息论与编码理论。信息论是关于信息的本质和传输规律的科学的理论,是研究信息的计量、发送、传递、交换、接收和储存的一门新兴学科。通过对本章的学习,读者可掌握信息、消息、信号、信息特征、信息分类、信息性质等概念,以及通信系统的主要功能模块及其作用,为后续内容学习打下一定的基础。

## 习题

- 1-1 信息、消息和信号的定义是什么? 三者的关系是什么?
- 1-2 简述一个通信系统包括的各主要功能模块及其作用。
- 1-3 写出信息论的定义(狭义信息论和广义信息论)。
- 1-4 信息有哪些特征?
- 1-5 信息有哪些分类?
- 1-6 信息有哪些性质?