

信息论与编码

Information Theory and Coding

叶芝慧 沈克勤 编著
王金龙 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信息论与编码

叶芝慧 沈克勤 编著

王金龙 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统阐述了经典信息论和编码的基本原理及应用, 主要内容包括: 绪论、信源描述及信息的度量、离散信源的信源编码、离散信道的信道容量、有扰离散信道的编码定理、连续信源和连续信道、信息率失真理论及其应用、网络信息理论基础、差错控制基础、线性分组码、卷积码、纠突发错误码、保密通信基础和信源的应用等。本书语言描述通俗易懂, 原理阐述深入浅出, 逻辑推理严谨简洁, 并配合丰富的应用实例, 力图将经典理论的研究成果与现代通信的实际应用相结合。

本书可作为高等学校信息与通信工程及电子类、计算机科学与工程类、自动控制类等学科的高年级本科生或硕士研究生的教材, 也适合作为有关的科研、技术和管理人员的参考书目。

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

信息论与编码 / 叶芝慧, 沈克勤编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.7

ISBN 978-7-121-13915-4

I. ①信… II. ①叶… ②沈… III. ①信息论—高等学校—教材 ②信源编码—高等学校—教材
IV. ①TN911.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 124833 号

策划编辑: 徐蔷薇

责任编辑: 谭丽莎 文字编辑: 王凌燕

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 787×1 092 1/16 印张: 19.75 字数: 506 千字

印 次: 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.00 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。

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。

服务热线: (010) 88258888。

序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》提出“要全面提高高等教育质量，到 2020 年建成一批国际知名、有特色高水平高等学校，若干所大学达到或接近世界一流大学水平”。2009 年，南京大学制定了创新本科教学模式，力图打造中国最好的本科教育之一。信息学科作为与时代结合最为紧密的科学与产业领域，而“信息论”又是该学科的专业基础理论，该课程的优劣度对南京大学创立国际一流大学的相关专业具有重要的作用。

教材建设是高等学校教学建设的重要内容之一，编写、出版一本好的教材，对于推动课程建设、促进专业发展的重要性不言而喻。信息论与编码目前已成为众多高等学校电子、通信及计算机等专业的必修课程，相应的教材也很多。在这众多的教材中，有的侧重理论，有的关注应用。每一本都凝结着作者的心血，都有其特色和价值。随着信息科学的飞速发展及信息理论向社会各个领域的渗透，新的研究理论和应用不断出现，如网络编码等。编写能够反映我国社会经济转型期特点、定位于不同应用领域和读者人群、反映信息科学最新研究成果和发展趋势的教材，将是一项始终有意义和富有挑战性的工作。

本书内容新颖、系统，反映了信息论与编码的最新理论与实践成果。作者在十多年的教学经验积累过程中，不间断地在多所高校执教“信息论与编码”本科生和研究生课程，在此过程中，汲取众家之长，并融入自己长期科研工作的体会，使得这本教材具有自己的特色。在教材的整体风格上，注重对物理概念的分析 and 说明，通过理论推导和例题等启发和引导读者进行更深层次的探索；在编排上注重深入浅出，层层展开，为读者展示信息理论与编码理论的丰富内涵；在内容上既注重理论分析，又尽量减少深奥烦琐的推导和证明，同时也提供大量的最新成果和实际应用介绍，如网络信息理论等；在语言描述上做到流畅和通俗易懂，将抽象的数学表达式用清晰易懂的物理概念进行阐述。相信该书的出版将成为“通信与信息系统”学科本科生优选教材和研究生的重要参考书（教材），其他自然科学、社会科学和管理科学等相关学科研究人员的重要参考资料。



2011 年 5 月

前 言

信息论是信息科学的基础理论,其中香农定理已成为衡量信息与通信系统传输容量的标准;而编码理论则是信息论的核心内容,它对信息传输与处理技术的研究和具体实现起着指引性的作用,对新兴的研究方向如网络编码、深空通信等同样具有重要的指导意义。信息论与编码作为通信、电子、信息等学科的重要的专业理论基础课程,已成为国内外众多大学高年级本科生或研究生的核心课程或必修课程。在这些开设信息论与编码的院校中,由于基础不同、侧重不同、办学层次和培养目标不同,对课程学习的要求也各不相同。作者曾在多所大学教授本科生和研究生的“信息论与编码”课程,本教材就是在多年的教学实践和学生意见反馈的基础上,编写修改而成的。教材适用于“985工程”、“211工程”高校或其他普通高校通信及相关专业高年级本科生,同时也可以作为普通高校信息与通信工程学科研究生的专业基础理论课程的主要参考教材,建议课时约60学时左右。课程有完善的多媒体课件可提供。

本教材共14章。第1章概括介绍信息的基本概念和经典信息论的基本内容,以及信息科学的发展历程。第2~6章阐述不失真信源编码和信道编码定理,第7章介绍限失真信源编码定理,这6章是香农信息论的基本内容,包括信息的度量、离散信源编码、离散信道编码定理、连续信源和连续信道、信息率失真理论等。在这一部分重点论述了各种熵和各种信息量的概念及相互之间的关系,香农的3个定理,以及信道容量公式等。第8章介绍网络信息理论,它是经典信息论的发展,目前还处于不断的研究和发展中,主要涉及多用户理论、边信息和公信息等概念,目的是为今后研究网络编码打好理论基础。第9~12章讨论了目前常用的各种信道纠错编码方法,其理论基础是香农第2定理和近世代数。这一部分内容实质上是香农信息论的应用技术,包括线性分组码、卷积码、纠突发错误码等。第13章介绍保密通信的理论基础,包括保密通信的技术体制及数学模型、信息保密技术等,在这一章中给出了几种常用或重要的密码体制。第14章简单介绍了信息理论的广泛应用。

作者衷心感谢我的导师宋祖顺老师、沈连丰老师以及在我的成长过程中给予我诸多帮助的老师 and 同事,如解放军理工大学的王金龙教授、沈越泓、蔡跃明教授,东南大学的毕光国教授、尤肖虎教授、徐平平教授,南京大学的施毅教授、张兴敢教授、金隄兵教授、陈启美教授、都思丹教授等,在此不一一例举。正是在他们的帮助和鼓励下本书得以编写完成。在编写过程中,南京大学电子科学与工程学院的研究生彭文攀、候智深、史莉薇、冯奇、孙春杰、倪睿、王涛、张婧、刘鸿军等做了大量的细致工作。最后,作者要特别感谢电子工业出版社的徐蔷薇编辑,在她的支持和鼓励下,本书才得以顺利出版。

本书内容虽已经过多届研究生和高年级本科生的使用,但信息论与编码处于不断的发展中,限于作者的水平,书中不妥或谬误之处在所难免,恳请读者指正。

编著者

2010年12月于南京大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信与信息的基本概念	1
1.1.1 消息和信号	1
1.1.2 信息	2
1.2 信息论及信息科学	4
1.2.1 信息科学的创立	4
1.2.2 信息科学与信息产业的发展	4
1.3 信息论的研究范畴	6
1.3.1 香农信息论(狭义信息论)	6
1.3.2 一般信息论	7
1.3.3 广义信息论	7
本章小结	8
习题	8
第 2 章 信源描述及信息的度量	9
2.1 信源的数学模型及分类	9
2.1.1 离散信源	9
2.1.2 连续信源	12
2.1.3 平稳信源	13
2.1.4 自然语信源	14
2.2 信息的度量	15
2.2.1 度量信息的基本思路	16
2.2.2 自信息量与不确定度的关系	17
2.3 离散信源的信息熵	17
2.3.1 信源的信息熵	17
2.3.2 条件自信息量和条件熵	19
2.4 互信息量	20
2.4.1 互信息量	20
2.4.2 条件互信息量	22
2.4.3 平均互信息量	23
2.4.4 疑义度和噪声熵	25
2.5 数据处理中的信息变化	26
2.5.1 n 维随机变量的熵	26
2.5.2 n 维随机变量的信息传递	27
2.5.3 数据处理中的信息变化	27

2.6	离散平稳信源	28
2.7	离散信源的熵和时间熵	31
2.7.1	离散信源的熵	31
2.7.2	离散信源的时间熵	35
	本章小结	37
	习题	37
第 3 章	离散信源的信源编码	41
3.1	信源的冗余度	41
3.2	信源符号序列分组定理	43
3.3	信源编码模型及最佳编码	45
3.3.1	信源编码模型	45
3.3.2	最佳编码	46
3.4	变长码的信源编码	48
3.4.1	唯一可译码与即时码	48
3.4.2	Kraft 不等式	49
3.4.3	平均码长界定定理	51
3.5	等长码的信源编码定理	53
3.6	无失真信源编码	55
3.6.1	香农第一定理	55
3.6.2	香农编码	57
3.6.3	费诺编码	58
3.6.4	霍夫曼编码	59
3.6.5	算术编码	61
3.6.6	游程编码	64
3.6.7	Lempel-Ziv 编码	64
3.7	信源编码的错误扩散	66
	本章小结	67
	习题	67
第 4 章	离散信道的信道容量	70
4.1	信道的分类及数学模型	70
4.1.1	信道的分类	70
4.1.2	离散信道的数学模型	70
4.2	单符号离散信道的数学模型	71
4.2.1	二进制对称信道	72
4.2.2	二进制删除信道	73
4.3	单符号离散信道的信道容量	74
4.3.1	信息传输速率和信道容量	74

4.3.2	几种特殊离散信道的信道容量	75
4.3.3	独立并联信道的信道容量	77
4.3.4	串联信道的信道容量	78
4.4	多符号离散信道的信道容量	80
4.4.1	多符号离散对称信道的信道容量	80
4.4.2	离散无记忆扩展信道的信道容量	81
本章小结		83
习题		83
第 5 章	有扰离散信道编码定理	86
5.1	译码准则	86
5.1.1	最小错误概率准则	86
5.1.2	最大似然译码准则	88
5.2	费诺不等式	89
5.3	汉明距离	90
5.3.1	错误概率与编码方法	90
5.3.2	汉明距离	92
5.4	有扰离散信道的信道编码定理	93
本章小结		98
习题		99
第 6 章	连续信源和连续信道	101
6.1	连续消息的信息度量	101
6.1.1	连续信源的相对熵	102
6.1.2	几种典型连续信源的相对熵	103
6.1.3	连续消息的条件熵	107
6.1.4	连续消息的平均互信息量	108
6.2	最大相对熵定理	109
6.2.1	相对熵的性质	109
6.2.2	最大相对熵定理	109
6.3	熵功率	112
6.3.1	连续信源熵的变换	112
6.3.2	熵功率	113
6.3.3	熵功率不等式	114
6.3.4	噪声	114
6.4	香农信道容量公式	115
6.4.1	连续信道的信道容量	115
6.4.2	香农信道容量公式	117
6.5	连续信源编码	118

6.5.1 标量量化与理想接收机	118
6.5.2 矢量量化编码	120
6.5.3 预测编码	121
本章小结	123
习题	123
第 7 章 信息率失真理论及其应用	126
7.1 失真度和平均失真度	126
7.1.1 失真度	126
7.1.2 平均失真度	128
7.2 信息率失真函数	129
7.2.1 保真度准则及 D_0 失真许可的试验信道	129
7.2.2 信息率失真函数	130
7.2.3 信息率失真函数的性质	132
7.3 信息率失真函数的计算	136
7.3.1 误码失真条件下离散信源的信息率失真函数	136
7.3.2 离散信源的 $R(D)$ 参量表示	138
7.3.3 连续信源的信息率失真函数	141
7.4 保真度准则下的信源编码定理	142
7.5 信息价值	142
本章小结	145
习题	145
第 8 章 网络信息理论基础	148
8.1 多用户信息传输系统模型	148
8.2 多址接入信道及其信道容量	149
8.2.1 基本概念	149
8.2.2 二进制接入信道	150
8.2.3 N 进制接入信道	152
8.2.4 高斯加性多址信道	153
8.2.5 广播信道的信道容量	153
8.3 相关信源的基本理论	156
8.3.1 离散无记忆相关信源的编码定理	156
8.3.2 相关信源通过接入信道的传输定理	157
8.3.3 相关信源的边信息与公信息	158
本章小结	159
习题	160
第 9 章 差错控制基础	161
9.1 差错控制的途径和基本方式	161

9.1.1	插入冗余度	161
9.1.2	差错随机化	163
9.1.3	参量权衡	164
9.2	纠错编码的基本概念	164
9.2.1	纠错编码的分类	164
9.2.2	纠错编码的基本概念	166
9.3	纠错编码的检、纠错能力	169
9.4	近世代数基础	171
9.4.1	整数	171
9.4.2	群	172
9.4.3	环	173
9.4.4	域	174
9.4.5	多项式环和域	177
9.4.6	$GF(2)$ 的扩域 $GF(2^m)$	178
9.4.7	矢量空间	182
本章小结		183
习题		183
第 10 章	线性分组码	185
10.1	线性分组码的基本概念	185
10.1.1	线性分组码的描述	185
10.1.2	生成矩阵和校验矩阵	186
10.1.3	系统码	187
10.2	线性分组码的编译码	188
10.2.1	线性分组码的编码	188
10.2.2	线性分组码的译码	189
10.3	线性分组码的纠、检错性能	192
10.3.1	线性分组码的距离与重量的关系	192
10.3.2	极大最小距离码 (MDC)	193
10.3.3	伴随式译码的性能	193
10.4	汉明码和格雷码	193
10.4.1	完备码	194
10.4.2	汉明码	194
10.4.3	格雷码	195
10.5	循环码	196
10.5.1	循环码的定义与描述	196
10.5.2	循环码的生成矩阵和校验矩阵	199
10.5.3	循环码的编码	200
10.5.4	循环码的译码	203

10.5.5 循环码的缩短与扩展	207
10.6 BCH 码	208
10.6.1 BCH 码的编码	209
10.6.2 BCH 码的译码	211
10.7 R-S 码	216
本章小结	218
习题	218
第 11 章 卷积码	221
11.1 基本概念	221
11.2 卷积码的编码	221
11.2.1 生成矩阵描述	221
11.2.2 多项式描述	224
11.2.3 状态图描述	225
11.2.4 树图描述	226
11.3 卷积码的译码	227
11.3.1 网格图	227
11.3.2 维特比译码	228
11.3.3 序列译码	231
11.4 卷积码的特性	236
11.4.1 卷积码的码率	236
11.4.2 卷积码的距离特性	236
11.4.3 恶性卷积码及译码的错误扩展	238
本章小结	238
习题	239
第 12 章 纠突发错误码	241
12.1 纠突发错误码的基本概念	241
12.2 纠突发错误循环码	243
12.2.1 法尔码	243
12.2.2 交织码	244
12.2.3 伯顿码	247
12.3 纠突发错误循环码的译码	248
12.4 纠突发错误卷积码	249
12.4.1 纠突发错误卷积码的基本概念	249
12.4.2 卷积交织	250
12.5 纠突发和随机错误码	251
12.5.1 循环乘积码	251
12.5.2 级联码	253

12.5.3 Turbo 码	254
本章小结	256
习题	257
第 13 章 保密通信基础	258
13.1 保密通信的技术体制及数学模型	258
13.1.1 加密和解密过程的模型	258
13.1.2 密码系统安全性	259
13.1.3 常规密码	260
13.2 信息保密技术的基础知识	262
13.2.1 基本度量	262
13.2.2 理想保密性	263
13.2.3 单一性距离	264
13.3 数据加密标准 DES	266
13.3.1 技术基础	266
13.3.2 乘法密码系统	267
13.3.3 数据加密标准 DES	268
13.4 流加密技术	270
13.5 公共密钥密码系统	271
13.6 PGP 标准	273
13.6.1 基本算法	273
13.6.2 私密密钥算法	274
13.6.3 会话密钥的加密	274
13.6.4 认证和签名	275
13.7 通信网络安全的加密方案	276
13.7.1 链路加密技术	276
13.7.2 端到端加密	277
本章小结	277
习题	277
第 14 章 信息论的广泛应用	280
14.1 多媒体通信中的编译码技术	280
14.1.1 多媒体数据压缩编码技术	280
14.1.2 多媒体数据压缩国际标准 JPEG 及 JPEG2000	282
14.1.3 多媒体会议系统中的信道编码技术	284
14.2 计算机网络通信中的编译码技术	284
14.2.1 数据链路控制规程中的差错控制技术	285
14.2.2 网络电话系统中的信息处理技术	286
14.3 信息论在数字移动通信中的应用	287

14.3.1 数字移动通信中的语音编码技术	288
14.3.2 Turbo 码在 CDMA2000 中的应用	290
14.3.3 TD-SCDMA 中的信道编码技术	292
14.4 信息论在宽带无线接入中的应用	294
14.4.1 蓝牙系统中的差错控制技术	294
14.4.2 IEEE 802.11 WLAN 中的编译码算法	296
14.5 信息论在其他领域的应用	296
本章小结	297
习题	298
附录 A 缩略词	299
常用符号	301
参考文献	302

第 1 章 绪 论

信息论是一门利用概率论、随机过程和数理统计等数学方法来研究信息的存储、度量、编码、传输和处理规律的科学。信息论的创始人是美国数学家香农（C.E.Shannon1916—2001年）。

信息论源于通信中的信息传输问题，并逐步渗透到经济、管理和社会的各个领域，得到日益广泛的发展。

本章从通信与信息的关系引出信息的概念，分析消息、信号和信息三者的关系，进而得到信息的基本属性。最后简述信息理论和信息科学的发展历史和趋势。

1.1 通信与信息的基本概念

通信的目的是传递信息，信息是指消息中包含的有意义的内容，它是通过消息来表达的，消息是信息的载体。信息是用于交流的，如果不交流，信息就没有意义，从这个角度看，信息和通信密不可分。从古代的烽火传信到现代的电话、电视等，都是传递消息的方式，因此都可以称为通信。但是近代的通信通常特指“电通信”。

一个最简单的通信系统模型可以由信源、信道和信宿 3 个基本单元组成，通信的基本形式是在信源和信宿之间建立一个传输信息的通道，借助电信号这种载体实现消息的传输。

信源即消息的源，通常指提供消息的人或设备等。常见的信源包括语音、图像、数据等。人们最感兴趣的是信源给出的消息。信源输出的消息有多种形式和分类方法。例如，根据从信源发出的消息在时间和幅度上的分布是离散的还是连续的，可以分为离散信源和连续信源。

信道是传递消息的通道，指从信源到信宿之间传递物理信号的媒质。根据采用的媒质的不同，可以将信道分为架空明线、同轴电缆、波导、光纤、传输电磁波的空间等；也可以根据信道的性质将信道分为无干扰信道和有干扰信道、恒参信道和变参信道、离散信道和连续信道等；或者根据传送的信号情况，分为单用户信道和多用户信道等。

信宿是接收消息的人、设备或事物，即消息传递的受体。

1.1.1 消息和信号

在通信系统中，通常将语言、文字、图像、数据等统称为消息。消息一般具有两个方面的特征，一是消息可以产生、传递和获取；二是消息有具体的内容。

消息是客观存在的，但也是抽象的，它的传递需要借助于载体。载体是消息的物理体现，如记录文字的纸，记录语音、图像和数据的光盘等。如果载体是电、磁、光等，则将这种消息的载体称为信号，即信号是一种载体，是消息的物理体现，它使无形的消息具体化。

信号理论是一种通过时域、频域及其他变换域来研究信号的波形、频谱等特征的科学。

在一切有意义的通信中，虽然消息的传递意味着信息的传递，但对接收者而言，某些消息可能比另外一些消息能够传递更多的信息。客观存在的消息，对不同的接收方即信宿而言，

其性质和作用是不同的。也就是说,对信宿而言,信源发出的消息可能是已知的、也可能是未知的,可能是有用的、也可能是无用的。此外,人的主观因素也会影响到对消息的判断。对这些问题的进一步研究就产生了信息理论的各种分支,如广义信息理论等。

通信的任务是快速、准确地传递信息。因此,从研究消息传输的角度来说,有效性和可靠性是评价通信系统优劣的最主要的两个性能指标。

信源产生的消息通常包含大量的冗余,在送入信道传输之前,通常应对这些消息先进行一些去除多余度的处理,从而提高通信的有效性。信源编码的主要任务就是解决通信的有效性问题。

另外,消息在传输过程中通常会引入各种干扰或噪声,从而使接收到的消息与发送的消息产生误差,这就要求信宿对接收到的消息能够进行判断、纠正和恢复,从而提高通信的可靠性。信道编码的主要任务就是解决通信的可靠性问题。

通信系统的有效性和可靠性是一对矛盾,一般情况下,增加系统的有效性就会引起可靠性的下降,反之亦然。信息理论最初就是从解决这一对矛盾入手,逐步发展成为一门新兴学科,即信息科学。

1.1.2 信息

信息的英文“**Information**”含有情报、资料、消息、报道、知识的意思。人们常常把信息看做是消息的同义语。事实上,就通信的实际意义而言,如果接收方(信宿)事先完全知道信源发出的消息是什么,则这种通信就失去了意义。也就是说,如果信宿收到的消息是已知的,则等同于没有收到任何消息。因此人们更感兴趣的是消息中所包含的未知或者不确定的成分,这就是包含在消息中的信息。

1. 信息的定义

概括地说,通信系统传输的是信号,信号是消息的载体,消息中的未知成分是信息。由此可见,消息、信号和信息密不可分。人们对消息和信号的理解都比较直观,但是对于信息,则很难给出一个标准的全面的定义。信息论的创始人香农和维纳都把信息看做是“一种解除不确定性”的量,都用所解除的不确定性的程度来表示信息量的多少。因此,信息论的信息,就是指被解除的不确定性,从这个角度看,信息和信息量是同一个概念。

在信息论中,信息的定义和不确定性有着非常密切的关系,要了解信息论的基本思想,必须对什么是不确定性有清晰的认识。

在信息论中,信息量公式就是对信息最明确的定义。但是也有人认为这只是一个数学定义,不能满足信息的定性分析。维纳认为“信息是我们适应外部世界,并且使这种适应为外部世界所感到的过程中,同外部世界进行交换的内容的名称”。中国的《辞海》对信息进行了如下的定义:“信息是通信系统传输和处理的对象,泛指消息和信号的具体内容和意义。通常须通过处理和分析来提取。信息、物质和能量称为系统的三大要素。信息和物质的量值与信息的随机性有关,如果对消息或信号中所蕴含的内容或意义进行预估的可能性越小,信息量就越大”。

2. 信息的本质

信息的本质和特点,是信息论研究的首要内容和解决其他问题的前提。

香农的狭义信息论从通信的角度将信息定义为人们对事物了解的不确定性的消除或减少。因此,在无干扰的理想情况下,信源发出的信号与信宿接收的信号一一对应。

信息是一种什么样的存在?或者说信息以什么方式存在?信息是否有载体?这是困扰许多人的问题。当我们收到一条新的消息,可以从这条消息中得到信息,而当重复收到同样的消息时,却不能得到任何信息。由此来看,信息和载体之间没有实际的联系,载体不是信息的存在方式。控制论创始人之一 W.R.Ashby 指出:“信息必须要有一个消息的集合作为它的基础。不仅这样,而且每个特定消息所含信息量,还依赖于这个消息是从哪个消息集合中取来的。因此,消息所含的信息量,不是个别消息本身所能决定的。”

3. 信息的特征

(1) 不确定性。这是信息的最基本属性。对于接收消息的一方,消息从未知到已知,等效为不确定性元素的减少。由此,可以利用概率论和随机过程来描述信息的传输。

(2) 可识别性。信息的可识别性包括直接识别和间接识别,直接识别指通过感官识别,间接识别是指通过各种测试手段的识别。

(3) 可度量性。这使得信息可以进行比较。

(4) 可转换性。可以对信息进行加工、整理、概括和归纳。信息既有物质的某些属性,又不同于物质。物质不灭,只能从一种形态变化成另一种形态;而信息不但可以由一种形态转换成另一种形态,也可以产生和消失。

(5) 可传递性。信息的可传递性是信息的本质特征。

(6) 特定范围有效性。信息只在特定的范围内有效。

(7) 可扩充性。信息可以在流通中扩充。

(8) 主客体二重性。信息是物质相互作用的一种属性,涉及主客体双方。信息表征信源客体存在方式和运动状态的特性,具有客体性和绝对性;但接收者获得的信息量和价值的大小,与信宿主体的背景有关,表现出主体性和相对性。

(9) 能动性。信息可以控制和支配物质与能量的流动。信息既有能量的某些属性,又不同于能量。能量产生的动作是客观的,而信息受主观和客观双重因素的影响。

信息的上述特征使人们可以运用概率论与数理统计来研究信息传输和处理中的一般规律。需要解决的核心问题是信息传输的有效性和可靠性及两者之间的关系。

此外,什么是信息?如何度量信息?信息在信道中的传输极限是什么?信息能否被压缩?压缩的极限是什么?干扰和噪声对信息提取和传输有什么影响?在允许一定失真的条件下,信息能否被更大程度地压缩?

在香农信息论中,信息量、信道容量、熵、香农的3个定理、香农公式等明确回答了上述问题。

除香农信息论即狭义信息论、基础信息论外,人们还建立了工程信息论和广义信息论,将研究和解决问题的深度和广度推向新的层面。

通过下面的例子有助于进一步理解信息的本质和特征。

某人某日收到两条消息:一条是今年12月22日将进入冬至;另一条是2030年9月15

日一颗小行星将撞击地球。

显然，这两个事件出现的概率有很大的不同。第一条是必然事件，如果此人事先已有这方面的知识，则这条消息并没有给他带来信息。但是如果事先不知道，则他仍会从中获得信息。第二条事件出现的概率极小，如果它真的出现了，就会带来极大的信息量。

此外，这两条消息产生的影响也不同。前者通常不会引起巨大的反响，而后者则可能导致很多的研究人员竭尽全力进行研究，并力图找到解决的办法。

再举一个例子，某人收到一箱礼物，并且知道这是一箱苹果，打开箱子看到苹果后，他得到信息了吗？没有；如果他事先只知道箱子里可能是苹果也可能是梨，打开箱子后，不管看到的是苹果还是梨，他都得到 1 比特的信息（假设两种可能性等概率）；如果可能性不止两种，他得到的信息将大于 1 比特。但是如果事先得知箱子里装的是苹果，但打开来一看，却是另外一种东西，则这种情况超出了狭义信息论的研究内容，属于广义信息论范畴。

总之，随着信息科学的飞速发展，人们对信息也不断赋予新的内涵。

1.2 信息论及信息科学

1.2.1 信息科学的创立

通信是交流信息的手段，人类早期只是用语言和手势直接进行信息交流。“仓颉造字”使信息传递摆脱了直接形式，同时扩大了信息的储存形式，是一次信息技术的革命。印刷术的发明，扩大了信息的传播范围和容量，也是一次重大的信息技术变革。但真正的信息革命则是电报、电话、电视等现代通信技术的发展，导致了信息论的诞生。

信息科学的创立是以信息理论的建立为标志的。香农在 1948 年和 1949 年分别发表了《The Mathematical Theory of Communication》和《Communication in the Presence of Noise》两篇文章，提出了信息的度量、信息特征、信息传输速率、信道容量、干扰对信息传输的影响等问题，成为信息论诞生的标志。在此之前，1922 年哈特莱发表文章《信息传输》，首先提出消息是代码、符号而不是信息内容本身，使信息与消息区分开来，并提出用消息可能数目的对数来度量消息中所含有的信息量，为信息论的创立提供了思路。控制论创始人维纳建立了维纳滤波理论和信号预测理论，也提出了信息量的统计数学公式，所以有人认为维纳也是信息论创始人之一。在信息论的发展中，还有许多科学家对它做出了卓越的贡献。法国物理学家布里渊（L.Brillouin）1956 年发表《科学与信息论》专著，从热力学和生命等许多方面探讨信息论，把热力学熵与信息熵直接联系起来。英国神经生理学家 W.B.Ashby 于 1964 年发表了《系统与信息》等文章，把信息论推广应用于生物学和神经生理学领域，也成为信息论的重要著作。这些科学家们的研究，以及后来从经济、管理和社会的各个部门对信息论的研究，使信息论远远地超越了通信的范围。

1.2.2 信息科学与信息产业的发展

信息科学是由信息论、控制论、计算机科学、仿生学、系统工程与人工智能等学科互相渗透而形成的。信息和控制是信息科学的基础和核心。