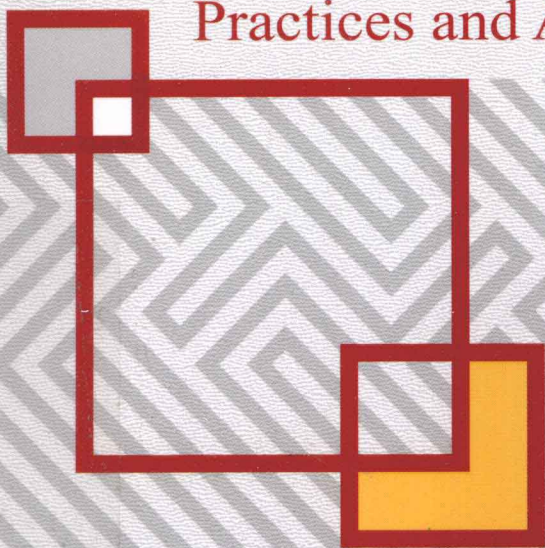


21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

信息理论与编码 学习指导

王虹 刘雪冬 编著

Information Theory and Coding Learning Guide:
Practices and Answers



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS


精品系列

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

信息理论与编码 学习指导

王虹 刘雪冬 编著

Information Theory and Coding Learning Guide:
Practices and Answers

人民邮电出版社

北 京



精品系列

图书在版编目 (C I P) 数据

信息理论与编码学习指导 / 王虹, 刘雪冬编著. --
北京: 人民邮电出版社, 2011.2
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-23684-5

I. ①信… II. ①王… ②刘… III. ①信息论—高等学校—教学参考资料②信源编码—编码理论—高等学校—教学参考资料③信道编码—编码理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN911.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第263375号

内 容 提 要

本书是学习和掌握信息理论与编码的教学指导书, 与人民邮电出版社出版的、吕锋主编的《信息理论与编码(第2版)》相配套, 也可作为独立的学习辅导书和其他版本同类教材配套使用。

全书包含了香农信息理论的核心内容, 以及网络信息论基础和密码学基础, 共8章。每章由学习要点、教材习题详解、测试题和实验题组成。可以帮助读者全面认识和快速查找信息理论的基本概念和重要知识点, 通过练习、测试和实验环节进一步理解信息理论的分析思路、基本定理以及重要结论。

本书对概念的梳理条理性强, 对习题和测试题的解答详尽, 所设计的实验题能使读者对信息理论有更加直观的认识。书中的习题和测试题全面覆盖了信息理论的基本概念, 题型多样且难度适中。此外, 还安排了部分英文题目供读者了解信息理论的外文表述。

本书可供高等学校通信类、电子工程类、信息类专业的师生使用, 也可作为有关科研人员学习信息理论的辅导书。

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材

信息理论与编码学习指导

-
- ◆ 编 著 王 虹 刘雪冬
责任编辑 贾 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.75 2011年2月第1版
字数: 335千字 2011年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-23684-5

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

信息论是人们在长期通信实践活动中,由通信技术与概率论、随机过程、数理统计等学科相结合而逐步发展起来的新兴交叉学科。随着科学技术的发展,特别是信息技术的发展,信息理论在通信领域中发挥着越来越重要的作用,显示出其作为解决通信领域中有关问题的有力工具的本色。在当今信息时代,信息理论还渗透到更多的学科领域,显示出勃勃生机,有不可估量的发展前景。

本书是与人民邮电出版社出版的吕锋主编的《信息理论与编码(第2版)》相配套的学习指导书,本书根据课程的教学需要和学生的学习需求,并且结合作者多年的教学经验而编写,其目的是有助于在学习信息理论的过程中,通过不同的练习形式,巩固信息理论的基本概念,掌握信息理论的分析方法。

全书共分8章,前3章是信息论的理论基础:第1章介绍信息的概念、信息论的研究内容以及应用范围;第2章详细讨论信息的量度方法,侧重于信息的数学建模,离散和连续信源的信息量、信息熵的计算;第3章介绍信道的相关问题,描述和分析了各种不同类型信道的数学模型和特性,特殊离散信道和一般DMC信道的信道容量计算,连续信道和波形信道的信道容量分析。第4章介绍信源无失真定长和变长编码定理、常用的和实用的变长编码方法,目的在于提高信源的信息含量效率。第5章介绍有噪信道编码定理和逆定理、译码规则和错误概率、线性分组码等问题,关注的是提高信息传输的可靠性。第6章介绍限失真信源编码的理论,包括限失真信源编码定理、率失真函数性质和计算等。第7章介绍网络信息论的基本理论,多用户通信系统的信道容量、信道编码定理、实现编码定理的码的结构问题等理论和技术。第8章介绍信息安全、密码学的基本理论、数据加密标准、公开密钥算法等。

本书包含了信息理论的学习要点,便于读者快速查找重点概念、理论、公式与结论,包含了《信息理论与编码(第2版)》教材中全部习题的详细解答思路和解答过程;安排了多种题型的测验题供读者检测知识的掌握情况,配有相应的参考解答;安排了部分英文题目,供读者了解信息理论的外文表述;此外,还设计了实验题、实验的matlab源程序和实验结果,使读者对信息理论体系有更加全面的掌握和直观的认识。

本书第1章、第2章由王虹编写,第3章、第4章、第5章、第6章由刘雪冬编写,第7章、第8章由吴巍编写。全书由王虹统稿。

限于编者水平,书中难免存在不妥和错误,恳请广大读者予以批评指正。

编者

2010年10月

目 录

第1章 绪论	1	2.4 测验题及参考答案	46
1.1 基本要求	1	2.4.1 测验题	46
1.2 学习要点	1	2.4.2 测验题参考答案	48
1.2.1 信息的基本概念	1	2.5 实验题及参考程序	54
1.2.2 信息论的研究对象	2	2.5.1 实验题	54
1.2.3 信息论的发展历程	3	2.5.2 实验题参考程序	54
1.2.4 信息论的主要研究内容	4	第3章 信道模型和信道容量	58
1.3 教材习题及参考答案	5	3.1 基本要求	58
1.4 测验题及参考答案	7	3.2 学习要点	58
1.4.1 测验题	7	3.2.1 信道的分类	58
1.4.2 测验题参考答案	8	3.2.2 信道的数学模型	59
第2章 信息的度量	9	3.2.3 信道的疑义度、散布度和 平均互信息	60
2.1 基本要求	9	3.2.4 信道容量	61
2.2 学习要点	9	3.2.5 信道的组合	64
2.2.1 信源的分类	9	3.2.6 信道绝对剩余度	65
2.2.2 信源的数学模型	10	3.2.7 连续信道的信道容量	65
2.2.3 离散信源的自信息	11	3.2.8 波形信道及其信道容量	66
2.2.4 离散信源的互信息量及 其性质	12	3.3 教材习题及参考答案	67
2.2.5 离散信源熵	12	3.4 测验题及参考答案	86
2.2.6 联合熵和条件熵	14	3.4.1 测验题	86
2.2.7 各类熵之间的关系	14	3.4.2 测验题参考答案	89
2.2.8 平均互信息量及其性质	14	3.5 实验题及参考程序	95
2.2.9 离散无记忆扩展信源的熵	15	3.5.1 实验题	95
2.2.10 离散有记忆信源的熵	15	3.5.2 实验题参考程序	95
2.2.11 马尔可夫信源的信息熵	16	第4章 离散无记忆信源无失真编码	98
2.2.12 离散信源的信息率和 信息含量效率	16	4.1 基本要求	98
2.2.13 连续信源的微分熵和 平均互信息量	17	4.2 学习要点	98
2.3 教材习题及参考答案	18	4.2.1 信源编码的基本术语	98
		4.2.2 信源编码的基本概念	99
		4.2.3 定长无失真编码定理	99

4.2.4 无失真变长编码定理 (香农第一定理)	100	6.2.3 限失真信源编码定理	165
4.2.5 变长编码方法	100	6.2.4 信息率失真函数的计算	166
4.2.6 几种实用的无失真信源编码	101	6.3 教材习题及参考答案	168
4.3 教材习题及参考答案	105	6.4 测验题及参考答案	176
4.4 测验题及参考答案	119	6.4.1 测验题	176
4.4.1 测验题	119	6.4.2 测验题参考答案	178
4.4.2 测验题参考答案	122	6.5 实验题及参考程序	182
4.5 实验题及参考程序	133	6.5.1 实验题	182
4.5.1 实验题	133	6.5.2 实验题参考程序	183
4.5.2 实验题参考程序	133	第7章 网络信息论基础	185
第5章 有噪信道编码	137	7.1 基本要求	185
5.1 基本要求	137	7.2 学习要点	185
5.2 学习要点	137	7.2.1 网络信道的分类	185
5.2.1 信道译码函数与 平均差错率	137	7.2.2 网络信源编码模型	186
5.2.2 两种典型的译码规则	138	7.2.3 多随机变量联合典型 序列	187
5.2.3 信道编码对平均差错率和 信息率的影响	139	7.2.4 相关信源编码定理	187
5.2.4 最小汉明距离译码规则	141	7.2.5 多址接入信道	187
5.2.5 有噪信道编码定理 (香农第二定理)	142	7.2.6 高斯多址接入信道	188
5.2.6 线性分组码	142	7.2.7 广播信道	188
5.3 教材习题及参考答案	143	7.2.8 中继信道	189
5.4 测验题及参考答案	152	7.2.9 具有边信息的信源编码 定理	189
5.4.1 测验题	152	7.3 教材习题及参考答案	190
5.4.2 测验题参考答案	154	7.4 测验题及参考答案	196
5.5 实验题及参考程序	158	7.4.1 测验题	196
5.5.1 实验题	158	7.4.2 测验题参考答案	198
5.5.2 实验题参考程序	158	第8章 信息安全与密码学基础	203
第6章 限失真信源编码	162	8.1 基本要求	203
6.1 基本要求	162	8.2 学习要点	203
6.2 学习要点	162	8.2.1 信息安全的要素	203
6.2.1 失真测度	162	8.2.2 安全服务功能	203
6.2.2 信息率失真函数及 其性质	163	8.2.3 网络安全对策	204
		8.2.4 密码学基本术语	204
		8.2.5 代替密码	204
		8.2.6 密码学中的信息理论	205

III | 信息理论与编码学习指导

8.2.7 数据加密标准 DES	206	8.4 测验题及参考答案	211
8.2.8 RSA 公开密钥算法	206	8.4.1 测验题	211
8.2.9 数字签名	207	8.4.2 测验题参考答案	212
8.3 教材习题及参考答案.....	207	参考文献	214

1.1 基本要求

通过对本章的学习，了解信息的概念、信息的定义、信息传输系统的基本模型和各部分功能、信息理论的主要研究内容，以及信息理论的发展历程和应用情况。

1.2 学习要点

1.2.1 信息的基本概念

信息论是关于信息的本质和传输规律的科学理论，是研究信息的度量、发送、传递和接收的一门学科。它不仅是现代信息科学大厦的一块重要的基石，而且还广泛地渗透到生物学、医学、管理学、经济学等其他各个领域。

信息论中最基本和最重要的概念就是信息。信息既是信息论的出发点，也是它的归宿。信息论的出发点是认识信息的本质和它的运动规律；它的归宿则是利用信息来达到某种具体的目的。

信息一词在各种场合都被广泛采用，但要给它下一个严格的定义却非常困难。自从信息论的奠基人香农（C.E.Shannon）发表著名论文“通信的数学理论”之后，引来许多学者对信息进行深入研究，给“信息”下过的定义不下百种。以下从中选取一部分，供读者参考。

1. 用人们熟知的、与信息有某种联系的概念来定义信息

- (1) 信息是消息。
- (2) 信息是数据。

此类定义只接触到与信息相关的一些表象，未触及到信息的实质。在日常交流中，信息常以消息的形式出现，消息中可能含有信息，但不是信息本身。数据则是记录信息的一种形式，但并非是唯一的形式。

2. 用某些学科的专门术语和名词来定义信息

- (1) 信息是集合之间的变异度。
- (2) 信息是一种场。
- (3) 信息是信号。

“集合”和“场”分别是数学和物理学中引入的概念，就概念本身来说就很专业、难懂，拿来定义信息就更加不好理解。信号是电子学的专业名词，是表现信息的一种形式，或传输信息的一种载体，不是信息本身。

3. 从广义的角度、或者说从哲学意义上来定义信息

- (1) 信息就是信息，既不是物质也不是能量。
- (2) 信息是事物之间的差异。
- (3) 信息是事物相互作用的表现形式。
- (4) 信息是事物联系的普遍形式。
- (5) 信息是物质的普遍属性。

这类定义很多，它们的共性是力争在一般意义上来定义信息，哲学意味很浓，但难以从定义出发引出信息的度量方法。

4. 从控制论和系统论的角度来定义信息

- (1) 信息是与控制系统相联系的一种功能现象。
- (2) 信息是控制的指令。
- (3) 信息是系统组织程度的度量。
- (4) 信息是有序性的度量。
- (5) 信息是负熵。

前两种是从控制论的角度下的定义，后3种是从系统论角度下的定义。这3种定义与香农对信息的理解较为接近，香农把信息理解为消除不确定性的东西。

5. 从随机不确定性的角度来定义信息

- (1) 信息是收信者事先不知道的报道。
- (2) 信息是反映不确定性的消除数量。

此类定义考虑到了通信的实际情况，即收信者在收到信息之前是心存疑问或不确定性的，收到信息之后，不确定性会减少或消除。

经典信息论是以香农理论为基础建立起来的，1948年，香农在所发表的著名论文“通信的数学理论”中对信息进行了定性和定量的描述。他指出：“信息是事物运动状态或存在方式的不确定性的描述”。

1.2.2 信息论的研究对象

信息论的研究对象是如图 1.1 所示的统一的基本模型。它是一个点到点的单向信息传输系统模型，利用该模型可解释各种通信系统中的一些共性问题。

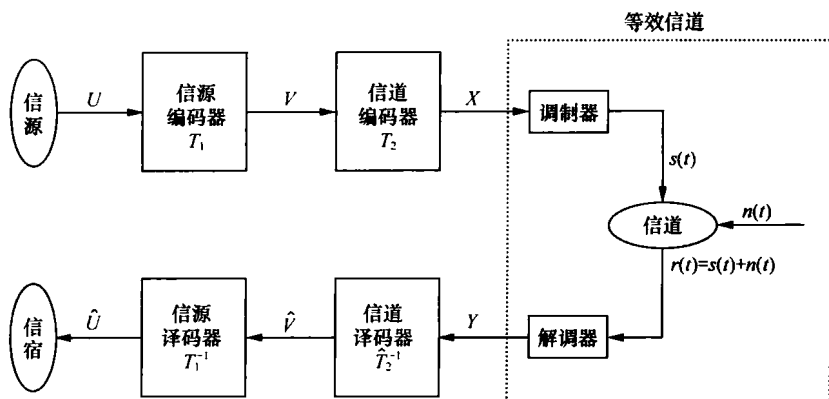


图 1.1 信息传输基本模型

1. 信源、信宿和信道

信源是发送消息的源，根据其输出的性质，有数字信源和模拟信源之分。离散信源输出离散的符号或数字消息序列，模拟信源输出连续波形信号。信源是信息论的主要研究对象之一，由于信源的输出具有不确定性，因此可用概率论和随机过程的方法予以研究。

信宿取的是信息归宿之意，亦即收信者或用户，是信息传送的终点或目的地。

信息论中研究的信道都是等效信道，是将传输信息的物理媒质和调制解调器合并考虑。所关心的是：在噪声干扰下，信道输入至输出之间的状态转移关系。

2. 信源编码器与信源译码器

从信息传输的角度看，总是希望信息传输的效率尽量高。通常信源发出的符号序列中，各符号携带信息的多少相差很大，即信息分布不均匀，因此有必要对符号序列加以变换，使得变换之后的序列信息分布均匀化。这种变换称为信源编码。

信源编码之前的序列较“松散”（有信息的冗余），而编码之后的序列较“紧凑”，这种由“松散”变为“紧凑”的过程也称数据压缩。总之，信源编码的实质就是为了去掉信源中的信息冗余。

信源编码分为无失真编码和限失真编码。

信源译码是信源编码的逆过程。

3. 信道编码器与信道译码器

信道编码的主要作用是提高信息传输的可靠性。因为有噪声干扰，信息传输总有出错的可能。信道编码通常是在信息序列中有目的地加入冗余，使其变“长”，从而实现对传输错误的检测或纠正。

信道译码规则要根据信道的噪声特性而定，通常不是一到一变换，而是多到一变换。

1.2.3 信息论的发展历程

信息论作为一门真正意义上的科学，是从 19 世纪中叶开始的。19 世纪中叶到 20 世纪 40 年代可以作为信息论产生前的准备阶段。香农发表的著名论文“通信的数学原理”标志着现代信息论的诞生，而香农也被公认为现代信息论的创始人。

1948年,香农在论文“通信的数学理论”中提出了无失真信源编码定理,同时给出了简单的编码方法(香农编码);对高斯信道进行了分析和研究。

麦克米伦(B.McMillan)证明了唯一可译变长码的克拉夫特(Kraft)不等式。

1949年,香农发表了论文“保密通信的信息理论”,首先用信息论的观点对信息保密问题作了全面论述。

1950年,汉明码被提出。

1952年,费诺(R.M.Fano)给出并证明了费诺不等式,并给出了关于香农信道编码逆定理的证明。关于无失真信源编码方法,给出了一种费诺码。同年,霍夫曼(D.A.Huffman)构造了著名的霍夫曼编码,并证明了它是最佳码。

1957年,沃尔夫维兹采用了类似典型序列方法证明了信道编码逆定理。

1959年,香农发表了“保真度准则下的离散信源编码定理”,首先提出率失真函数和率失真信源编码定理。

1960年,卷积码的概率译码被提出。

1961年,香农发表了论文“双路通信信道”,开拓了网络信息论的研究。

1961年,费诺又描述了分组码中码率、码长和错误概率的关系,并提供了香农信道编码定理的充要性证明。

1964年,霍尔辛格(J.L.Holsinger)进一步发展了对有色高斯噪声信道容量的研究。

1965年,格拉戈尔(R.G.Gallager)发展了费诺的证明结论并提供了一种简明的证明方法。

1968年,埃利斯(P.Elias)发展了香农—费诺码,提出了算术编码的初步思想。

1969年,平斯尔克(M.S.Pinsker)提出了具有反馈的非白噪声高斯信道容量问题。

1971年,伯格(T.Berger)给出了更一般的信源率失真编码定理。

1971年,艾斯惠特(R.Ahlsweide)和1972年廖(H.Liao)找出了多元接入信道的信道容量区。1973年,沃尔夫(J.K.Wolf)和斯莱平(D.Slepian)将其推广到公共信息的多元接入信道中。

1972年,阿莫托(S.Arimoto)和布莱哈特(R.Blahut)分别发展了信道容量的迭代算法。

1976年,里斯桑内(J.Rissanen)给出和发展了算术编码。

1976年,迪弗和海尔曼发表了论文“密码学的新方向”,提出了公钥密码体制。

1977年,由齐弗(J.Ziv)和兰佩尔(A.Lempel)提出了著名的L-Z编码(通用信源算法),1978年,他们又给出了改进算法。

1983年,科弗尔(T.M.Cover)和R.Ahlsweide分别发表文章讨论相关信源在多元接入信道的传输问题。

1990年,贝尔等在L-Z算法的基础上又做出了一系列变化和改进。目前,L-Z编码已广泛用于计算机数据压缩中,如UNIX中的压缩算法就采用了L-Z编码算法。

至此,香农理论已成为真正具有实用意义的科学理论。

1.2.4 信息论的主要研究内容

根据研究范围的大小,可对信息论进行以下分类。

狭义信息论,也称经典信息论或香农信息论。它主要研究信息的测度、信道容量以及信源和信道编码理论等问题。这部分内容是信息论的基础理论。香农信息理论的体系结构如图1.2所示。

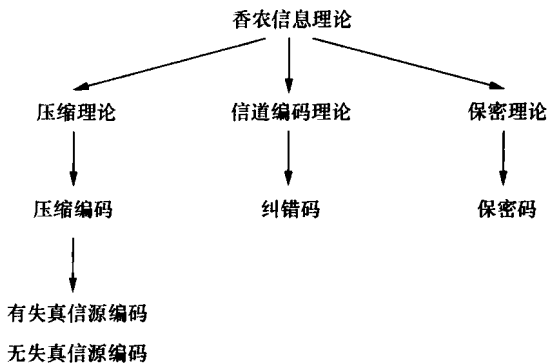


图 1.2 香农信息理论体系结构

一般信息论，主要是研究信息传输和处理问题。除了香农理论以外，还包括噪声理论、信号滤波和预测、统计检测与估计理论、调制理论、信息处理理论、保密理论等。

广义信息论，它的研究领域不仅包括上述两方面的内容，而且还包括所有与信息有关的自然和社会领域。

1.3 教材习题及参考答案

习题 1.1 试述信息与知识、消息、信号之间的区别，并举例说明。

答：信息反映不确定性的消除量，可能存在于知识之中，但知识未必包含信息，对于主体已知的知识中就没有信息。例如，对于电脑陌生的人，电脑操作方法是知识，也包含了所需的信息；但对于熟悉电脑的人，电脑操作方法却没有太多信息，但也是知识。

消息是信息出现的形式，消息中可能含有信息，但不是信息本身。例如，某人第一次听到一则消息，对他而言消除了不确定性，该消息含有信息；但有人又一次告诉他同样的消息，该消息对他而言已不存在不确定性，没有信息。

信号也是表现信息的一种形式，或传输信息的一种载体，但不是信息本身。比如某人用手机以电信号方式接收信息，但如果接收到的内容不能消除不确定性，那么该信号中不包含信息。

习题 1.2 详述信息的概念及其体系。

答：信息的概念既简单又复杂。信息可以用人们熟知的、与信息有某种联系的概念来定义；可以用某些学科的专门术语和名词来定义；可以从广义的角度、或者说从哲学意义上来定义；可以从控制论和系统论的角度来定义；可以从随机不确定性的角度来定义。

按照钟义信先生提出的信息定义体系，可以按适用面的不同来分层次地定义信息。层次越高，适用面越宽。适用面不同意味着给定义附加的约束条件不同，约束条件越多，适用面越窄。将最高层次的信息称为本体论层次信息，给本体论层次的信息定义加入人类这个认识或观察的主体，从认识论的角度来定义信息，此层次的信息称为认识论层次信息。

1948 年，香农 (C.E.Shannon) 在所发表的著名论文“通信的数学理论”中对信息的定义，作为经典信息论中的科学定义，他指出：“信息是事物运动状态或存在方式的不确定性的描述”。在这样的概念之上，可以实现对信息的定性和定量的描述。

习题 1.3 试查阅参考书，说明信息具有哪些特征和性质？

答：尽管从不同的角度出发对信息存在不同的定义，但是信息具有如下一些公认的基本性质。

(1) 普遍性：只要有事物的地方，就必然存在信息。信息在自然界和人类社会活动中广泛存在。

(2) 客观性：信息是客观现实的反映，不随人的主观意志而改变。如果人为地篡改信息，那么信息就会失去它的价值，甚至不能称之为“信息”了。

(3) 动态性：事物是在不断发展变化的，信息也必然随之变化发展，其内容、形式和容量都会随时间而改变。

(4) 时效性：由于信息的动态性，那么一个固定的信息的使用价值必然会随着时间的流逝而衰减。

(5) 可识别性：人类可以通过感觉器官和科学仪器等方式来获取、整理和认知信息。这是人类利用信息的前提。

(6) 可传递性：信息是可以通过各种媒介在人与人、人与物、物与物等之间传递。

(7) 可共享性：信息与物质、能量显著不同的是，信息在传递过程中并不是“此消彼长”，同一信息可以在同一时间被多个主体共有，而且还能够无限地复制、传递。

习题 1.4 说明通信系统模型由哪几部分组成，并详细讨论每一部分的功能。

答：一个典型的点对点通信系统模型包括信源、信道、信宿、信源编译码器、信道编译码器。各部分功能如下。

(1) 信源是发送消息的源，有数字信源和模拟信源之分。

(2) 信宿是信息归宿，亦即收信者或用户，是信息传送的终点或目的地。

(3) 信道是信息的传输通道。信息论中研究的信道都是等效信道，所关心的是，在噪声干扰下，信道输入至输出之间的状态转移关系。

(4) 信源编码是为了去掉信源中的信息冗余。信源译码是信源编码的逆过程。

(5) 信道编码的主要作用是提高信息传送的可靠性。信道译码规则要根据信道的噪声特性而定，通常不是一到一变换，而是多到一变换。

习题 1.5 试述信息论的研究内容。

答：信息论研究的内容，主要包括以下几个方面。

(1) 信息的测度。

(2) 信源编码理论与技术。

(3) 信道编码理论与技术。

(4) 信道特性与信道容量理论。

(5) 率失真理论。

(6) 噪声理论和信号检测理论与技术。

(7) 信息处理理论。

(8) 保密理论等。

1.4 测验题及参考答案

1.4.1 测验题

1. 填空题

- (1) 在认识论层次上研究信息时，必须同时考虑到形式、_____和_____3个方面的因素。
- (2) 如果从随机不确定性的角度来定义信息，信息反映_____的消除量。
- (3) 信源编码的结果是_____冗余；而信道编码的手段是_____冗余。
- (4) _____年，香农发表了著名的论文_____，标志着信息论的诞生。
- (5) 信息商品是一种特殊商品，它有_____性、_____性、_____性和知识创造性等特征。

2. 判断题

- (1) 信息传输系统模型表明，噪声仅仅来源于信道。()
- (2) 本体论层次信息表明，信息不依赖于人而存在。()
- (3) 信道编码与译码是一对可逆变换。()
- (4) 1976年，论文“密码学的新方向”的发表，标志着保密通信理论研究的开始。()
- (5) 基因组序列信息的提取和分析是生物信息学的研究内容之一。()

3. 选择题

- (1) 下列表述中，属于从随机不确定性的角度来定义信息的是_____。
- A. 信息是数据
B. 信息是集合之间的变异度
C. 信息是控制的指令
D. 信息是收信者事先不知道的报道
- (2) _____是最高层次的信息。
- A. 认识论
B. 本体论
C. 价值论
D. 唯物论
- (3) 下列不属于狭义信息论的是_____。
- A. 信息的测度
B. 信源编码
C. 信道容量
D. 计算机翻译
- (4) 下列不属于信息论的研究内容的是_____。
- A. 信息的产生
B. 信道传输能力
C. 文字的统计特性
D. 抗干扰编码

(5) 下列关于信息论发展历史描述不正确的是_____。

- A. 偶然性、熵函数引进物理学为信息论的产生提供了理论前提。
- B. 1952 年, 香农发展并证明了信道容量的迭代算法。
- C. 哈特莱用消息可能数目的对数来度量消息中所含有的信息量, 为香农创立信息论提供了思路。
- D. 1959 年, 香农首先提出率失真函数和率失真信源编码定理, 才发展成为信息率失真编码理论。

4. 简答题

给定爱因斯坦质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$, 试说明该方程所传达的语法信息、语义信息和语用信息。

1.4.2 测验题参考答案

1. 填空题

- (1) 含义, 效用
- (2) 不确定性
- (3) 减小, 增加
- (4) 1948, 通信的数学理论
- (5) 客观性, 共享性, 时效性

2. 判断题

- (1) $\times$ (2) $\checkmark$ (3) $\times$ (4) $\times$ (5) $\checkmark$

3. 选择题

- (1) D (2) B (3) D (4) A (5) B

4. 简答题

语法信息: 就是该方程中各个字母、符号的排列形式。

语义信息: ΔE 为所产生的能量, Δm 为质量的变化, c^2 为光速的平方, $=$ 表示左右在量值上相等。综合起来就是, 质量的微小变化可以产生巨大的能量。

语用信息: 该方程可以启发主体在一定条件下, 通过物质质量的变化来产生巨大的能量, 如果让能量缓慢释放出来, 可以得到核能; 如果让能量瞬间释放出来, 可借以制造核弹。

2.1 基本要求

通过对本章的学习，了解信源的模型和分类，掌握自信息量和互信息的定义和性质、离散信源的熵及其性质、平均互信息的性质、无记忆信源的扩展，了解离散有记忆信源的熵、马尔可夫信源的熵，掌握离散信源的信息率的概念、连续信源的微分熵以及微分熵的极大化，了解连续信源的熵功率的概念。

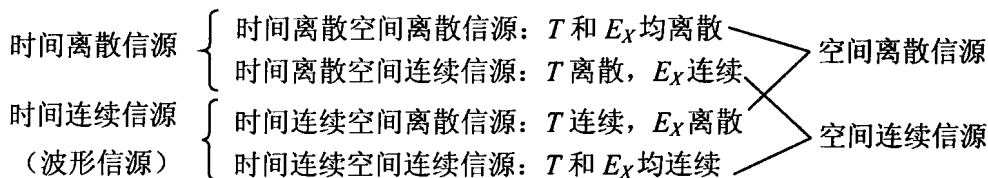
2.2 学习要点

2.2.1 信源的分类

1. 根据信源的参数和值分类

信源在 t_k 时刻输出的 X_{t_k} 是随机变量，取值于 E_X 符号表，表示为 $\{X_{t_k}, t_k \in T\}$ ，其中， $X_{t_k} \in E_X$ 。

根据参数和值的性质，可将信源分为 4 类。



为了数字化存储与传输的要求，时间连续信源均要通过采样变为时间离散信源，因此通常简单化表示如下：

空间离散信源 → 离散信源

空间连续信源 → 连续信源

2. 根据信源的记忆特性分类

无记忆信源 N 维分布函数为

$$F_{X_{i_1} \dots X_{i_N}}(x_1, x_2, \dots, x_N) = \prod_{i=1}^N F_{X_{i_i}}(x_i) \quad (2.1)$$

各符号间统计无关。

有记忆信源各符号间统计相关。

3. 根据信源的平稳特性分类

平稳信源：序列的统计特性与时间的推移无关，即

$$F_{X_{i_1+r} \dots X_{i_N+r}}(x_1, x_2, \dots, x_N) = F_{X_{i_1} \dots X_{i_N}}(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2.2)$$

平稳信源也是有记忆的，只是记忆的长度有限。

N 阶平稳信源：任一时刻 t_k 的输出，只与前面 $N-1$ 时刻 $t_{k-(N-1)}, \dots, t_{k-1}$ 的输出有关。

平稳信源只需考虑任意 N 个相邻时刻的输出序列为

$$X^N = X_1 X_2 \dots X_N \quad (2.3)$$

独立同分布信源：无记忆信源各个时刻的随机变量是同分布的。

非平稳信源：不满足上面条件的信源。

2.2.2 信源的数学模型

1. 离散无记忆信源的数学模型

离散无记忆信源（DMS）的数学模型可用概率空间表示，即

$$[X, P_X] = [x_k, P(x_k) | k=1, 2, \dots, K] \quad (2.4)$$

也可用式（2.5）表示为

$$\begin{bmatrix} X \\ P_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_K \\ P(x_1) & P(x_2) & \dots & P(x_K) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

若满足约束条件 $\sum_{k=1}^K p(x_k) = 1$ ，则称为完备信源。

2. 非理想观察模型

非理想观察模型是实际通信或信息传递系统的抽象，由它可引出信息传递的一些共性问题，并能简明地解释一些理论问题。

对信源 X 进行观察，观察结果为 $y_j (j=1, 2, \dots, J)$ ， y_j 是信源 Y 的取值。一般来说，由于有干扰存在，观察过程是非理想的。图2.1所示为 $K=2$ 、 $J=3$ 的非理想观察过程。

条件概率 $P(y_j | x_k)$ 表示了观察过程中干扰的有害影响。

条件概率 $P(x_k | y_j)$ 表示观察到 y_j 之后，输入 x_k 的概率，称为符号 x_k 的后验概率。

非理想观察模型如图2.2所示。

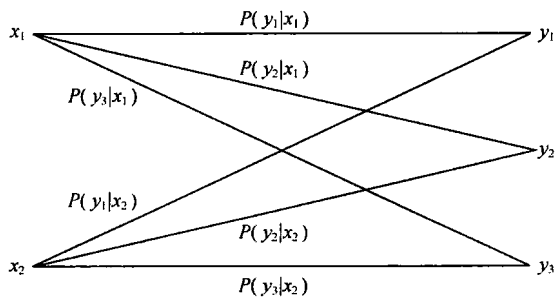


图 2.1 非理想观察过程