

信息工程理论基础

[苏] Φ . E. 捷莫尼科夫 等著

工业出版社

信息工程理论基础

【苏】Ф. Е. 捷莫尼科夫 等著

高远 锻钢 贾世楼 何文业 译

唐泳洪 校



机械工业出版社

JS450/07

本书为信息工程的基础理论教科书。书中系统而全面地论述了信息工程的基础理论，对信息的度量、量化、编码、调制、传输、识别、处理以及显示等均作了比较系统而详细的介绍。该书内容较新，体系完整，联系实例，很有特色。

本书可作为我国信息、电子、无线电、通信、测量、自动控制、计算技术以及工程管理等有关专业的参考书，也可供有关专业的科研人员、生产技术人员、大学教师、研究生以及高年级学生的参考。

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Издание второе, исправленное и дополненное

Ф. Е. ТЕМНИКОВ

В. А. АФОНИН

В. И. ДМИТРИЕВ

МОСКВА «ЭНЕРГИЯ» 1979

* * *

信息工程理论基础

【苏】Ф. Е. 捷莫尼科夫 等著

高远 锻钢 贾世楼 何文业 译

唐泳洪 校

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张17¹/₄·字数390千字
1985年12月重庆第一版·1985年12月重庆第一次印刷
印数 0.001—7.250·定价 3.60 元

*

统一书号：15033·5702

译 者 的 话

信息工程是一门新兴的科学。

诚如人们所知，信息科学与材料科学以及能源科学被称为当代科学技术的三大支柱，可见它确实是重要的。信息资源是现代社会的极为重要的财富，开发与利用信息资源是摆在我们面前义不容辞的重任。

当前，信息工程正飞快地向前发展着，各国学者对信息理论的看法也不尽相同。例如有的苏联学者认为象电场和磁场一样，也存在着一个信息场。而本书作者则认为“信息是物质的普遍特性和系统的结构度量”。“信息工程与其他所有科学，自然界的任何物理现象，以及人类活动的一切形式都有着直接关系”。

毋庸置疑，如果我国人民提高与增强了对信息科学的认识和实践，势必会给我国科学技术发展以及社会福祉带来巨大而深远的影响。

本书是根据1979年苏联出版的《信息工程理论基础》(ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ)译出的。原书为苏联高等教育部指定的教科书，这是经过作者对1971年版本中的五章均作了内容更新和改写的再版本。

全书除前言与绪论外共分八章。它全面系统地论述了信息的基础理论，信息的度量、量化、编码、调制、识别、传输、处理以及显示等过程。本书无论在内容上还是在形式上

均有独到的见解，具有独特的风格。深信本书会对我国广大读者有所裨益。

前言、绪论、第一、二、五、七章由高远翻译，第三、八章由锻钢翻译，第六章由贾世楼翻译，第四章由何文业翻译。

高远、锻钢对全书分别作了校对，最后由唐泳洪对全书作了认真的审校。

此外，在翻译过程中王恒山、邹士愚、韩树森、葛冠雄、寒冰、王景科、刘立柱、王兰勋等也参加了部分工作，在此谨向他们深表谢意。

由于本书内容较新，又受水平与时间所限，译文中难免有错误与不妥之处，敬希读者批评指正。

1982年3月

前 言

在科学技术的进程中,有两大科学发展方向起着重大的作用,这就是系统理论与信息理论。我们这里所指的科学发展方向,其特点就在于它的普遍性。确实如此,系统理论和信息理论与其他所有科学、自然界的任何物理现象,以及人类活动的一切形式都有着直接关系。可以完全令人信服地得出这样的结论:“信息是物质的普遍特性和系统的结构度量”[Π-20]。⊙

在科学技术革命过程中,信息工程已发展为一系列带方向性的学科,如:

信息范畴、过程与系统的一般科学[“信息学 I”, Π-15];

信息与通信理论[Π-24];

信息的哲学问题[Π-16, Π-9];

科学技术信息与文件[“信息学 I”, Π-7, Π-9];

测量理论与信息测量技术[Π-6, Π-22];

计算技术与编程[“信息学 II”, Π-2, Π-3];

民用信息理论与社会宣传[Π-23, Π-1, Π-10];

控制信息理论[Π-5, Π-11];

人工智能科学[Π-4, Π-13]。

以本书所阐述的信息工程理论为基础,讨论了以下几方

⊙ 方括号[Π-]系指作者所引文献目录号,下同。——译者注

面的一般原理，它们是：信息概念、信息测量、量化、编码与调制原理，以及信息的识别、传输、处理与显示过程。

书中比较详尽地阐述了现代科学与工程技术上广泛应用的实际问题。

莫斯科动力学院系统工程教研室为一些专业开设了一系列的课程，本书是在这些课程的基础上编写成的。这一系列课程有：《信息工程理论基础》，《信息和编码理论》，《自动学与遥控学》，《自动控制》，《系统理论》，《信息系统》等。本书既可作为高等学校《信息工程》，《自动》以及《系统工程》专业的大学生教材，又可作为下列专业：《自动与遥控学》，《信息测量技术》，《自动控制系统》，《计算技术》，《工程控制论》，《应用数学》，《试验研究理论与技术》等各专业的大学教材。

与1971年第一版本相比，这次第二版对第二、三、八章均从根本上做了修改；而在第五、七章中，又补充了新的内容。

随同作者（封面上署名的）一起参加写作的还有B. Γ. 多洛托夫（第二章）。

作者谨向对本书写作给予帮助的，以及寄来有关第一版《信息工程理论基础》评语的诸位，表示诚挚的谢意。

作 者

目 录

前言

绪论	1
一、信息的转化过程	3
二、信息的类型	5
三、信息的结构	9
四、去除信息的多余度	12
第一章 信息的测量	14
§1-1 信息的结构度量	15
一、几何度量	16
二、组合度量	17
三、累加度量 (哈特莱度量)	19
四、信息量结构估计的举例	23
§1-2 信息的统计度量	29
一、概率与信息	29
二、熵的概念	34
三、集群熵	35
四、联合熵	39
五、信息量和多余度	44
六、信息量统计估计的举例	46
七、测量和检验的质量估计	53
§1-3 信息的语义度量	57
一、信息的内容充实性	58
二、信息的合理性	59
三、动态熵	61
四、信息的本质性	63
§1-4 信息功能的其它度量, 熵、噪声和数据库	64

第二章 信息的量化	68
§2-1 基本概念与定义	68
§2-2 离散化方法的分类	71
一、取样的规律性	72
二、精度估计的准则	73
三、基础函数	77
四、逼近原理	78
§2-3 均匀离散化	79
一、根据卡切尔尼科夫定理选择取样频率	80
二、最大偏差准则选择取样频率	84
三、均方误差准则选择离散化间隔	91
§2-4 自适应离散化	93
一、零阶逼近代数多项式	94
二、一阶逼近代数多项式	95
三、标准逼近函数的自适应离散化	98
§2-5 幅度量化	99
第三章 信息的编码	104
§3-1 一般概念和定义与编码目的	104
§3-2 编码是一个用数字形式表示信息的过程	107
§3-3 用数字表征信息的技术设备	112
一、变换器的种类	112
二、直读型模拟—数码变换器	113
三、串行计数模拟—数码变换器	120
四、逐次反馈型模拟—数码变换器	127
§3-4 有效性编码	130
§3-5 有效性编码与译码的技术设备	140
§3-6 抗干扰编码	143
§3-7 字组码	145
一、多余度运用的一般原则	145
二、码的纠错能力与码距的关系	148

三、校正字组码的几何解释	151
四、校正码的质量指标	152
五、线性码	155
六、线性码的数学导论	155
七、线性码是线性向量空间的子空间	160
§3-8 二元群码的构成	162
一、多余码元个数的确定	162
二、伴随式表的编排	165
三、检验方程的确定	168
四、群码的大数译码	170
五、线性码的矩阵表示法	172
§3-9 群码的编码和译码的技术设备	181
§3-10 二元循环码的构成	186
一、一般概念和定义	186
二、循环码的数学导论	188
三、对生成多项式的要求	190
§3-11 根据给定码的容量和校正能力来选择生成多项式	192
一、发现单个错误	192
二、纠正单个错误或发现二重错误	193
三、对三个错误的发现	197
四、发现并纠正任意重的独立错误	197
五、对突发错误的发现和纠正	198
六、循环码的形成方法	199
七、循环码的矩阵表示	201
§3-12 二元循环码的编码和译码技术设备	203
一、线性开关线路	203
二、编码设备	206
三、译码设备	209
四、循环码的大数译码	218
§3-13 迭代码	222

一、古典迭代码	222
二、专用二维码	225
三、磁带记录信息的迭代码	225
四、按行与对角线进行偶性校验的码	228
§3-14 递归码的概念	232
第四章 信息载体的调制	242
§4-1 载体和信号的种类	242
§4-2 调制与编码	246
§4-3 确知信号和随机信号	248
§4-4 描述信号的时域形状和频域形状	248
§4-5 直流载体信号的频谱	252
一、无扰动载体	252
二、直接调制	254
§4-6 谐波载体信号的频谱	254
一、无扰动载体	254
二、调幅	254
三、调频与调相	256
§4-7 脉冲载体的信号频谱	263
一、单个脉冲的频谱	263
二、脉冲载体的频谱	267
三、脉冲调制信号的频谱	271
§4-8 随机信号的频谱	273
§4-9 已调信号的抗干扰性	276
一、寄生调制	276
二、抗干扰性	278
第五章 信息的识别	283
§5-1 识别的基本形式与方法	283
一、分类	283
二、识别程序的操作线路	284
§5-2 信息的初始识别和测量	285

一、信源的信息景象	285
二、初始识别	287
三、测量	290
§5-3 分析	294
一、相关器	295
二、随机过程的频谱分析	300
三、数字频谱分析	307
§5-4 发现与识别	316
一、识别的质量特性	318
二、发现的统计准则	319
三、识别的统计准则	326
第六章 信息的传输	329
§6-1 传输信道的类型	330
一、机械信道	330
二、声信道	332
三、光信道	334
四、电信道	337
五、无线电信道	340
§6-2 信道的分割	342
一、空间分割	343
二、差接分割	344
三、频率分割	344
四、时间分割	345
五、相位分割	345
六、编码分割	346
七、幅度分割	347
八、波形分割	348
九、相关分割	348
十、组合分割	353

§6-3 信息沿信道的传输	354
一、信道的信息模型	356
二、离散无干扰信道	358
三、离散有干扰信道	368
四、连续有干扰信道	375
五、信号与信道间的特性匹配	391
§6-4 提高传输和接收的抗干扰性	396
一、频域滤波	399
二、积累方法	400
三、相关滤波法(时域滤波法)	402
四、匹配滤波法	405
五、卡切尔尼科夫接收的潜在抗干扰性	406
第七章 信息的处理	410
§7-1 基本概念	410
§7-2 信息处理的算法和程序及其描述语言	413
§7-3 信息处理的技术设备	433
§7-4 信息处理系统的构成	437
第八章 信息的显示	462
§8-1 向操作员进行信息显示的问题	462
§8-2 在识别、存贮和处理信息中操作员的主要特点	465
一、操作员识别信息的主要特点	465
二、操作员的信道容量和记忆力	471
三、用解析法说明操作员处理信息的能力	474
§8-3 信息显示元件	476
一、信息简单显示的基本形式	476
二、发出信号与显示信息的元件	477
三、记录元件	497
§8-4 现行的信息显示设备	499
§8-5 信息显示的基本原则	508

§8-6 在操作板与信息显示器上,对信息进行复合显示的方 法	510
一、积分控制与监督级	511
二、形象控制与监督级	517
三、标记控制与监督级	521
四、细目控制与监督级	522
附录	524
参考文献	532

绪 论

人们从事的活动，是与材料、能源和信息的处理及利用分不开的。因而反映着工艺学、能源学和信息学的科学技术学科相应地得到了发展。信息工程是一门新兴学科。它在电子计算机和自动控制系统的研制和应用中，得到了巨大的发展。

信息工程，尽管现在得到了广泛的应用，并且已被用于理论和实践的各个不同领域（表B-1），但它的发展却还不够充分。现有的应用只能说是它的部分分支，而它们的核心，则是以山农的概率论为基础而创建起来的通信理论。

表 B-1

信息论的应用领域		
科学技术领域	其他领域	
1. 控制论	1. 数学	10. 医学
2. 系统工程	2. 哲学	11. 教育学
3. 运筹学	3. 经济学	12. 犯罪学
4. 仿生学	4. 社会学	13. 诊断学
5. 自动学	5. 管理学	14. 语言学
6. 遥控	6. 物理学	15. 目录学
7. 通信	7. 化学	16. 艺术
8. 测量技术	8. 生物学	
9. 计算技术	9. 心理学	

对于控制论来说，信息科学与技术则处于从属的地位。这是因为，除纯粹信息过程（信息的取得、传输、处理、存贮与显示）以外，控制论还从事其他有关对象、目标、工艺

过程、最佳控制、反馈等等的研究。

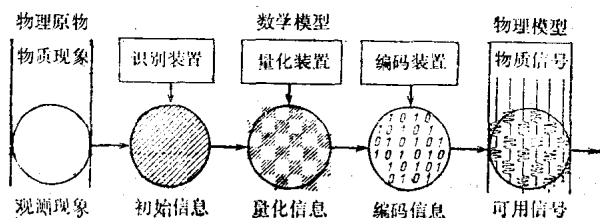
在新学科（运筹学、系统工程、行政管理科学）的行列中，信息科学与技术占据着基础位置。凡是用以识别、控制、传输、处理、存贮与显示等任何一种信息方法，均属于信息工程。无论这种信息的来源是人，自然界，还是机器，一句话，不管信源来自哪一个观测与控制对象。这些方法的综合运用，就导致了大型复杂信息系统的建立。

现有信息概念的定义，众说纷云。可以从最一般的哲学方面（信息是现实世界的反映），到最具体的实际方面（信息是被称之为存贮、传输与处理对象的情报）来定义它。

信息的概念，是与反映事物的本质，并达到一定真实程度的现实事物的模型相关联，而反映的真实程度，要视目的和需要而定。这完全与哲学观念上的反映相符合，既适用于事物相互之间，也适用于生物机体内部。

因此，对信息不应理解为是事物与过程的本身，而应理解为是事物的表征特性，其表现是数字、公式、记录、图形、符号、形象或其他抽象标志的形式。

信息本身可以认为是属于抽象范畴的，例如数学公式。然而，它却总是以一种具有物质能量形态的信号形式出现。构成信号的方法示意图，如图B-1所示。



图B-1 信息形成与物化方法示意图

任何自动装置的动作、生物的行为、人的创造性活动、科学技术的发展、经济的改革与社会的改造，以及生活本身都是离不开信息的传输与处理。

能量这个概念，已经把自然界和工程中的物理现象概括成一种统一而又先进的观点。信息这个概念，如同能量概念一样，也把现代科技中的工程—心理方面的看法统一起来了。

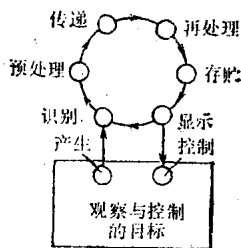
如果说对材料（物质）与能源已经研究得相当充分的话，那么可以说对信息的拾取、变换与利用的规律性则还是一个急待开发的未知领域，其中还潜藏着许多意想不到的现象。

一、信息的转化过程

让我们分析一下在控制某个对象所用信息的识别、传输与利用的情况。在这里我们可以把信息转化过程划分为若干阶段（图 B-2）。由于信号是信息的物质载体，所以这种过程。可以看作是对信息载荷者—信号的处理与变换的过程。

识别就是确定目标的形象，并对其进行辨认与估计。识别时，须从噪声中提取有用的信息，这在某些情况下（微生物、物理—化学试验、复杂生产条件、无线电通信、雷达、天文等），是很困难的。识别的结果，将得到一个适于传递或处理的信号形式。识别的过程，可以包括信息的预处理、规范化、量化、编码、信号调制与模型的建立等。

信息传输就是借助于具有不同物理特性的信号，相应地



图B-2 自动控制系统中信息转化循环