



信息转换理论与应用丛书

信息科学原理

XINXI KEXUE YUANLI

(第5版)

钟义信 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

信息转换理论与应用丛书

信息科学原理

(第 5 版)

钟义信 著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书创建了“全信息理论”、“信息转换原理”和“信息科学方法论”,形成了信息科学的理论体系,在国内外独树一帜。全书分为4篇。第1篇给出信息科学的背景和定义,是全书的总纲;第2篇提出并建立全信息理论,是全书的基础;第3篇阐明信息转换原理,把相互分立的感知论、通信论、认知论、智能论、控制论、系统论有机综合成为统一的科学理论,是全书的主体;第4篇总结信息科学的方法论,是全书的灵魂。

全书原创丰硕,概念清新,逻辑严密,体系完整,叙述流畅,可以作为高等学校信息领域研究生和高年级大学生的教科书,也可作为相关领域科技人员自学的参考书,其他领域广大读者学习信息科学的基本教材。

图书在版编目(CIP)数据

信息科学原理 / 钟义信著. --5版. --北京:北京邮电大学出版社, 2013.12
ISBN 978-7-5635-3764-8

I. ①信… II. ①钟… III. ①信息学 IV. ①G201

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第320290号

书 名: 信息科学原理(第5版)

著作责任者: 钟义信 著

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝昌彩色印刷有限公司

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 31.5

字 数: 645千字

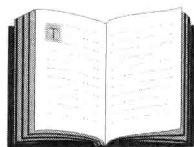
印 数: 1—3 000册

版 次: 1988年9月第1版 2013年12月第5版 2013年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-3764-8

定 价: 79.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •



本书的研究和写作先后得到国家自然科学基金 68872014, 69171023, 69982001, 60496327, 60575034, 60873001, 以及 70711120412(国际合作)等项目的资助。它们是孕育《高等人工智能原理》的学术温床。作者谨致崇高的敬意和衷心的感谢!

上述基金项目系列研究成果以《构建信息科学理论基础, 创新人工智能核心理论》为题于 2012 年获得中国人工智能学会《吴文俊人工智能科学技术奖》的最高奖: 成就奖。

谨以此书献给国家、母校、师长、同学、朋友、父母、家长、亲友以及热爱信息与智能科学的人们!

作 者

2013 年 10 月于北京

丛书前言

信息科学是研究信息及其运动规律的科学,是信息时代的标志性科学。

基于1976年以来的研究成果,作者于1988年出版了学术专著《信息科学原理》,在国内外学术界首次系统地论述了信息科学的基本定义、基础概念、基本原理和方法论。书中着重阐明:信息科学的基础概念是形式、内容、效用三位一体的“全信息”,它的基本原理是基于全信息的“信息转换原理”,即信息-知识-智能转换原理,它的研究目的是提供生成各种智能策略的通用方法。本书先后于1996、2002和2005年在北京邮电大学出版社再版,受到广大读者热烈而持久的欢迎与关注。

1987年以后,作者把主要精力聚焦于人工智能理论的研究,因为它是信息科学的核心和前沿。研究发现,“信息转换原理”揭示的正是智能生成的共性核心机制,于是提出了人工智能机制模拟理论和方法。如所预料,机制模拟方法和谐地统一了此前一直鼎足三分的结构模拟(人工神经网络)、功能模拟(经典人工智能)、行为模拟(感知动作系统)方法,在国内外首次实现了人工智能理论的统一。这些成果形成了作者另一部学术专著《机器知行学原理》,2007年在科学出版社出版。

1993年以来,在继续深化信息科学和人工智能基础理论研究的同时,作为国务院信息化工作领导小组办公室专家委员会的常务委员,作者承担了我国“信息化理论”的研究任务,为推动我国信息化建设发挥了很好的理论支撑作用。这些成果汇成了作者的专著《社会动力学与信息化理论》,于2007在广东教育出版社出版。以上三部学术著作,构成了信息科学理论和应用的有机体系:《信息科学原理》创建了信息科学的基本理论,《机器知行学原理》深化了《信息科学原理》的理论,创立了人工智能机制模拟方法并统一了分而治之的传统人工智能理论,《社会动力学与信息化理论》则把信息科学理论成功地应用于我国信息化的伟大社会实践。

认识到信息科学理论与应用所具有的重大学术意义和深远的实践价值,同时鉴于广大读者对上述著作的热情关注与期待,北京邮电大学出版

社和作者达成共识,把上述学术著作结集出版,定名为《信息转换理论与应用丛书》,因为“信息转换”既是《信息科学原理》和《机器知行学原理》的理论纲领,也是《社会动力学与信息化理论》的核心指南。

为了更好地体现丛书的体系结构和内在联系,作者对原有书目做了适度优化处理:保持了《信息科学原理》的书名,为《机器知行学原理》增加了副标题《人工智能统一理论》,把《社会动力学与信息化理论》的书名调整为《信息化理论基础》。

丛书的问世,得益于广大读者对上述著作的持久关爱,也得益于北京邮电大学出版社的远见卓识。在此,作者表示深切的感谢和崇高的敬意!

作者谨志

2013 年冬于北京

第5版前言

从1988年第1版至今,《信息科学原理》这部学术专著曾经根据广大读者的要求分别在1996年、2002年、2005年几次再版。

令人倍感欣慰的是,在经历了整整1/4世纪社会学术大洗礼之后,它在1988年第1版所总结和阐发的“辅人律—拟人律—共生律”及“科学—技术—经济—社会连锁反应”的规律、它所创建的信息科学基础“全信息理论”、它所构建的信息科学基本理论体系“信息科学基本原理”以及它所总结的“信息科学方法论”,至今非但没有丝毫减色,反而越发活力四射,显示出强大的生命力和巨大的学术价值。

近些年来,《信息科学原理》获得了越来越广泛和热烈的社会关注:各个版本的库存早已销售一空,前来求购的四方读者仍然络绎不绝,北京邮电大学研究生院《信息科学原理》课程每学期选课学生的人数也大幅度增加,《信息科学原理》成为一门广受欢迎的大课。

为什么《信息科学原理》会受到如此持久而且越来越广泛的欢迎?考察一下社会进步的实际状况,答案便会一目了然。

随着经济与社会信息化进程不断走向深入,人类对信息的需求逐渐地由单纯的“信息共享”发展到渴望“利用信息方法来解决实际问题”。而为了能够利用信息方法来解决实际问题,就必须把信息(它告诉人们“这是什么”)提炼成为相应的知识(它才可以告诉人们“这是为什么”),并把知识激活成为策略(它才能告诉人们“应当怎样做”)。《信息科学原理》所阐明的,正是人们所渴望的关于把信息转换成为知识进而转换为策略的基本原理,因此适应和满足了信息和智能时代的社会普遍需求,吸引了广大读者的关注。

为了积极回应这种广泛而热烈的社会需求,也为了反映作者近年来在信息科学基础理论研究领域所取得的新进展,北京邮电大学出版社和作者达成了明确的共识,决定出版它的新版本,以满足广大读者的真诚需求,感谢他们对《信息科学原理》的热爱和支持。

本次修改是25年来最为深刻最为全面的一次。其中最重要的进展

也是最突出的亮点,是把原来平铺直叙的信息获取、信息传递、信息处理、信息认知、信息再生、信息执行和信息优化等各个原理首次提炼成为具有纲领性意义的“信息转换原理”,回答了如何把现象性的信息转换成为本质性的知识进而转换成为规律性的智能策略的问题。

人所共知,物理学的“质量转换定律”告诉人们如何把劣质的物质资源转换成为优质的材料产品,“能量转换定律”告诉人们如何把低效的能量资源转换成为高效的动力产品。现在,信息科学的“信息转换原理”可以告诉人们如何把现象性的信息资源转换成为规律性的智能策略。因此,“信息转换原理”的成功提炼,不仅使信息科学的基本原理体系做到了纲举目张,而且具有与“质量转换”和“能量转换”同样重要(甚至更为重要)的学术与社会意义,这是因为,物质和能量都要依靠信息来驾驭。

与此相关的另一个重要亮点是:由于“信息转换原理”催生了新的智能模拟方法(见作者的另一专著《高等人工智能原理》),使长期以来互不沟通的人工智能三大学派(人工神经网络学派、物理符号系统学派和感知-动作系统学派)实现了和谐的统一。为此,《信息科学原理》第5版彻底删除了原先相对薄弱的第8章(信息思维原理),由新的第7章(知识激活(智能):知识-策略转换原理)取而代之,使新版本的学术认知得到了显著的深化。

同时,新版本对于作者创建的“全信息理论”做出了更加深入的论证,为此设置了专门的“观念对话”(见附录),系统地解答了学术界提出过的一些疑问,通过正反双方的问答,使全信息理论的科学性更加深刻和清晰。事实上,《信息科学原理》之所以能够把原来各自独立发展的检测、模式识别、通信、信息处理、人工智能、控制和系统理论有机地贯通一体,共同的基础就是“全信息理论”。

还有,作为《信息科学原理》的总结篇,第5版对“信息科学方法论”的凝练也达到了新高度,明确了信息科学研究应当遵循以信息观、系统观、机制观为标志的科学观和以信息转换原理为标志的科学方法论。这是意义重大的提升。

此外,为了使全书内容在逻辑上更加严谨和清晰,第5版把“信息处理”的内容改写成为“知识生成(认知):信息—知识转换原理”的预处理。为了便于读者理解“信息转换原理”体系内各个原理的内涵和相互关系,第5版在第3篇的导言中专门阐述了“信息转换原理通论”,又在第3篇每

一章的第1节分别安排了“原理概说”，阐明它们的内涵和意义。

总之，相对于前面的各个版本，第5版在继承原有基本理论和总体框架的基础上，补充了新进展，改善了薄弱环节，调整了整体结构，并在每一章的内容组织、论述深度和精准程度上都做出了显著的改进。作者希望，这些努力能使《信息科学原理》新版本更加深刻地揭示信息科学的本质规律，更加完美地表现信息科学的知识体系，更加符合读者阅读和研修的认识规律，从而可以为读者提供更好的服务。

《信息科学原理》从1977年启动研究，1988年首次成书，至今走过了36个春秋。期间，作者有幸获得了国家自然科学基金的长期资助，得到北京邮电大学信息工程系和智能科学技术研究中心各位同事的支持，得到我国著名高校、科学院相关研究所和相关学会众多新老朋友各种形式的热心指导和大力帮助，得到 L. A. Zadeh 和 H. A. Simon 等国外同行的热情鼓励。由于需要衷心感谢的单位和朋友实在太多，无法逐一列出他们的大名，作者谨在此一并表示发自内心的深切感谢。作者还要特别向北京邮电大学出版社的领导和同事们表示崇高敬意和谢忱。几十年来，是他们与作者同甘共苦一路同行，才使本书有机会不断得到改进和完善！

没有上述这一切，本书的研究、写作、出版和再版都会成为不可能。

作者谨致
2013年春于北京

第 1 版前言

历史上,每个时代都曾经产生过自己特有的思想和观念,都曾经孕育过反映当时对客观规律深邃认识的辉煌科学,如研究物质结构和运动规律的材料科学、研究能量转换规律的能量科学,等等。本书要向读者介绍的,则是当今信息时代所孕育的一门新科学——信息科学。

和以往一切传统科学不同,信息科学破天荒地把信息作为自己主要的研究对象,把信息的运动规律作为自己主要的研究内容,把扩展人的信息功能特别是它们的整体——智力功能作为自己主要的研究目标,而在这些研究实践中,又逐渐形成了自己特有的方法论——信息科学方法论。由于信息科学的崛起,以物质和能量为中心观念的传统科学就逐渐让位于以物质、能量和信息为中心观念的现代科学。

不仅如此,信息科学的概念、理论和方法还远远地超越了自然科学的边界,向社会科学的各个领域广泛渗透,成为一门纵横交叉的新兴科学。事实上,信息科学的发展已经为哲学、经济学、社会学、管理学、人文科学提供了大量新颖的研究课题、研究方法和研究思路。另外,在信息科学理论启迪下,一大批信息技术(包括感测技术、通信技术、计算机技术、智能控制技术等)也已经迅速成长起来,成为当代新的技术革命的中流和核心。这一切都有力地表明,信息科学的兴起已经对现代人类文明的进步产生了巨大的影响。

虽然迄今为止,国内外学术界还没有来得及对这一辉煌的成就进行系统的消化和总结,但是通过一本专著来阐明信息科学基本理论体系的时机显然已经成熟了。本书便是作者在这方面所做的一次初步的尝试。

本书的初稿曾在国家教委举办的 1985 年全国高等院校骨干教师研讨班试讲,也曾在中国社会科学院研究生院、北京邮电大学研究生院等单位讲授,均收到很好的效果。它的简缩本曾在许多高等学校、研究单位和管理部门讲授过多次,都受到热烈的欢迎,可见本书虽然以专著形式写成,但完全可以作为高等院校有关专业研究生和高年级大学生的教学参考书,也可以作为各专业教育工作者、科学工作者、工程技术人员和管理

工作者的参考读物。

在内容安排上,本书的基点放在自然科学方面。为了能够比较全面地讲述信息科学的基本理论,反映信息科学的基本体系,书中安排了4个部分的章节。第1部分是总论,即第1章,给出信息科学的总体概念、学科体系、发展逻辑和历史意义。第2部分是基础,包括第2~4章,论述信息的基本定义、分类准则、描述方法和度量方法,从定性和定量两个方面来阐明信息的实质。第3部分是基本的原理,包括第5~9章,分别阐述信息的传递原理(通信论)、再生原理(决策论)、调节原理(控制论)、组织原理(系统论)、认知原理(智能论)。第4部分是方法论和应用提要,即第10章,给出信息科学方法论的要点及其在基础自然科学、生命科学和社会科学各领域应用的提要。作者相信,为了比较完整地反映信息科学的基本面貌和体系,安排上述几方面的内容是必要的。

在本书的酝酿和写作过程中,作者有幸得到不少老一辈科学家的关怀和指导,其中要特别提到的是已故著名电子学家冯秉铨教授,著名信息论学者蔡长年教授,著名信息论及通信理论学者、我的导师周炯槃教授。同时,作者还得到许多同辈学者的鼓励和帮助,其中包括北京邮电大学信息工程系、中国科学技术培训中心以及北京现代管理学院等单位的同事们和朋友们。在面向全国各地的上百次短期教学中,各地各界学者和朋友们反馈的意见和建议也给了作者很大的启发和帮助。没有这一切,本书的问世是不可能的。在此,作者一并表示衷心的感谢。

由于本书是在著述信息科学方面的首次尝试,国内外都没有现成的蓝本可供参考;同时,由于信息科学本身还相当年轻,许多理论还不是尽善尽美;加上作者学识水平的限制,本书一定会存在许多错误和缺点,在此作者诚恳希望各界读者批评指正,以图不断改进。

作 者

1986年12月于北京

第2版前言

《信息科学原理》作为国内外第一部系统阐明信息科学理论基础的学术专著自1988年秋问世以来,获得了学术界高度评价和广大读者普遍喜爱。人们赞誉它是信息科学“开创性著作”(《光明日报》1989年10月6日)、“对理论研究和实际工作都具有深远指导意义”(《信息系统工程杂志》,1990年第1期)、“是信息论发展成为信息科学的标志,形成了信息的大科学”(《中国哲学年鉴》,1990年)。在1990~1991年间,《信息科学原理》先后获得了国家教委科技进步奖、全国第二届教育图书优秀著作奖以及全国首届光明杯优秀著作奖。

随着传统的物质型经济在全世界范围内大规模地向信息型经济转变,人们在思想上也不断地接受着信息化洗礼。特别是进入90年代以来,全球信息化浪潮一浪高过一浪,“信息高速公路”(Information Highway)、国家信息基础结构(National Information Infrastructure, NII)以及全球信息基础结构(Global Information Infrastructure, GII),一个又一个崭新的概念、一个又一个全新的事物,接踵而至,踏至纷来,令人眼花缭乱,应接不暇。于是,越来越多的人渴望学习和掌握信息科学技术知识,希望得到一本《信息科学原理》。为了满足广大读者的迫切需求,同时为了反映本书问世以来的新发展,作者征得福建人民出版社的同意,决定将原书加以修订在北京邮电大学出版社重新出版,以飨读者。

作者欣慰地注意到,在科学技术知识如此突飞猛进的今天,《信息科学原理》的思想很好地经受住了时间和实践的考验,表现了它强大而持久的生命活力。

这次再版,保持了原书的基本框架和风貌,只在局部结构和叙述上作了必要的调整。新版把原书第二章(信息科学的基本概念)和第三章(信息的描述)精简合并为第二章(信息的概念与描述),删去了原书第四章第二节(无概率的信息测度)、第五章第一至第四节(通信与语法信息、信息与信号、信号描述、信道分析)、第八章第五节(另一种系统信息模型)以及第十章第二节(信息科学与基础科学);新增了“信息获取原理:识别论”、

“信息处理通论”和“人工神经网络”等章节。这样,就使新版更简练而又在理论体系上得到了完善。在叙述上,保持全书立足于自然科学的基本姿态和风格,同时也试图顾及信息科学原理的社会科学含义和应用。

作者相信,这些调整将使新版能够更好地反映 1988 年以来信息科学研究的主要进展,更具有信息时代的气质与特色;同时也使本书的理论结构更臻完美。

趁本书新版即将问世的机会,作者谨向广大热心的读者朋友们和相关出版社的朋友们致以诚挚的敬意,感谢他们对信息科学以及对本书的热情关注和支持。作者期望,本书的新版能够为更多的读者提供更好的服务。

作者

1995 年 8 月于北京

第3版前言

作为一部学术专著,《信息科学原理》自1988年问世以来,已经跨越了15个年头。然而,却仍然有众多读者踊跃问津,使出版社乐于做出决定:出版它的第3版。人们或许感到奇怪:在理论研究景气不佳的当今,是什么原因使这部学术色彩很强的著作在读者中长盛不衰?

人类进入了信息时代,需要信息科学理论的指导。这是最直接的解释。

长期以来,人们很难找到一部像《信息科学原理》那样系统阐述信息科学基本理论的学术著作。物以稀为贵,这是另一种可能的解释。

不同学科的“信息”理论面目各异,难以沟通;《信息科学原理》却以“全信息理论”把这些“散乱的珍珠”串成了“漂亮的项链”。这也许是《信息科学原理》受到读者喜爱的一个重要原因。

作为一部科学著作,《信息科学原理》系统阐述了全部信息过程(包括信息感知、信息传递、信息认知、信息再生、信息施效、信息组织)的基本原理,揭示了信息领域的基本规律,使人们明白什么是可以努力争取的,什么是不可以强行逾越的,从而在处理各种信息问题的时候有所遵循。这可能是读者感受《信息科学原理》魅力的又一个原因。

多年来,不少书评家先后撰文认为《信息科学原理》是“信息科学的开创性著作”,是“信息科学的奠基性著作”,是“‘信息论’发展到‘信息科学’的标志”,这应当是读者喜爱这一著作的总体原因。

维纳曾经说过:一部有活力的著作,它的框架和基本理论是稳定的,而它的具体内容应当能够随着时代进步而不断更新。作者注意到,《信息科学原理》的基本框架和基本理论都很好地经受住了长时间的实践检验,表现了它强大而持久的学术生命活力;另外,随着科学技术的发展,已经有了新的成果可以使本书更加丰富和更富于时代感,而一些已经被读者接受的内容则应当淡出。另外,随着认识的深化,本书的章节结构也可以

进一步优化。有鉴于此,作者愿借本书第3版的机会,在保持原著风貌的基础上,进行一次必要的调整与更新。

第3版的修改主要表现在以下方面。首先,考虑到本书主要定位于信息科学理论,同时高兴地注意到人们对信息技术的理解正在逐步取得与本书非常一致的共识,因此完全删去了第二版第1章第2节的“信息技术”;同时,由于第二版的第10章第4节“从信息科学到信息社会”在内容上与第1章有所重叠,这次也全部删去。另一方面,为了进一步深化本书的基础,第3版第1章增加了第1节“科学技术基本规律再认识”,第3节“信息科学与信息哲学”。为了进一步界定全信息的概念,第2章增加了第1节两小节“全信息与 Shannon 信息”和“全信息与模糊信息”以及第2节“相关概念”。鉴于知识理论的重要性以及近年来作者在知识论研究方面的进展,增加了第6章“信息的认知原理:知识论”。最后,为了反映信息科学对技术-经济-社会的巨大影响,增加了第11章第4节“信息科学的连锁反应”。作者相信,经过这样的增删和调整,本书的体系将更加完善,而且能够更好地反映21世纪初信息科学的新进展和新面貌。

随着《信息科学原理》的读者越来越多,随着《信息科学原理》与各方面的交流越来越广,作者不断收到来自全国各地高等学校和科学研究所的同事们热情洋溢的来信和 E-mail,他们对《信息科学原理》所取得的成果表示热烈的祝贺与称赞,同时也表达了许多积极的期待。在北京邮电大学,《信息科学原理》一直是“信号与信息处理”等博士学位授权专业的学位课。在每年课程结束前,参加学习的同学们都在课程论文中对《信息科学原理》给予很高的评价,同时也提出了许多宝贵的改进建议。使作者感到特别欣慰的是,经过15年的洗礼,本书依然是信息领域国内外第一部全面系统阐述信息科学基本理论的学术专著而受到广大读者的喜爱,而对社会需求十分敏感的北京邮电大学出版社决定再一次出版本书的新版本,以飨读者。所有这一切,都对《信息科学原理》第3版的修改和出版提供了巨大的动力和有益的帮助,作者在此一并表示衷心的感谢。

物理学理论曾经指导人们认识、开发和利用物质和能量资源,创造了灿烂的工业时代文明;信息科学理论应当能够启示人们认识、开发和利用

信息资源,创造更加灿烂的信息时代文明。作者真诚地希望,通过《信息科学原理》第3版的问世,能够吸引更多的有志者共同努力,向着信息科学理论研究的新的深度和广度前进,做出无愧于信息时代的积极贡献。让我们继续共同努力。

作 者

2002年8月于北京

第4版前言

“信息科学”不等于“信息论”。这里有一段发人深省的故事。

1948年,美国 Bell 实验室的科学家 Claude E. Shannon 创立了“通信的数学理论(Mathematical Theory of Communication)”,即“通信论”。他用统计的方法建立了通信系统中信源信息的度量、信道容量的度量以及保障通信系统信息传输有效性和可靠性的编码定理。这是一项划时代的伟大贡献。

后人不满足 Shannon 对这个理论的命名,遂把它称为“信息论”。此后便少有人知晓“通信论”,而只知道“信息论”。

其实,把 Shannon 的“通信论”称为“信息论”是不妥当的。

这是因为,如果把它命名为“信息论”,它就应当能够适用于信息的各个分支领域:信息的获取(感测)、信息的传递(通信)、信息的处理(认知)、信息的再生(决策)、信息的执行(控制)。然而,在通信以外的其他领域,特别是认知和决策这些智能领域,Shannon 理论不能普遍成立。

作为一位令人尊敬、学风严谨的科学家,Shannon 本人在 *IEEE Transactions on Information Theory* 第二卷头版头条发表的专论文章 *The Bandwagon* 清晰地阐明了这一点。他说,“近几年来,信息论简直成了最时髦的学科。它本来只是通信工程师的一种技术工具,现在却无论在普通杂志还是科学刊物都占据了重要的地位……结果,它已经名过其实……这种声誉孕育着一种危险。诚然,在理解和探讨通信问题的本质方面,信息论是一种有力的工具,而且它的重要意义还将与日俱增。但它肯定不是通信工作者的万灵药;而对于其他人,则更是如此。应当认识到,一次就能打开全部自然奥秘这种事情是不可能的。否则,一旦人们发现仅仅使用几个像信息、熵、冗余度这样一些动人词汇并不能解决问题的时候,就会灰心失望,那种人为的繁荣就会在一夜之间崩溃……信息论的基本结果都针对某些非常特殊的问题……信息论的核心本质是一个数学分支,是一个严密的演绎系统。因此,透彻地理解它的数学基础及其在通信方面的应用,是在其他领域应用信息论的先决条件。”遗憾的是,很多人