

信息科学原理

钟义信 著

北京邮电大学出版社

481738

信息科学原理

钟义信 著



481738

(73-28)

12/21

北京邮电大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

信息科学原理/钟义信著. —北京:北京邮电大学出版社,1996.2

ISBN 7-5635-0235-1

I. 信… I. 钟… II. 信息学 IV.G201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 22358 号

内 容 简 介

本书试图站在全局的高度,系统全面地阐明信息科学的概念、原理和体系。全书分为四部分。第一部分给出了信息科学的结构体系,是全书的总纲;第二部分提出并阐明了全信息的基本概念和测度方法,建立了全信息理论,是全书的理论基础;第三部分利用全信息的理论阐述了信息科学的基本原理,从理论上把原先独立发展的识别论、通信论、决策论、控制论、系统论、智能论有机地综合成为一门统一的科学,从而完成了信息科学在理论上的建构;第四部分归纳了信息科学的方法论及其在自然和社会两大科学领域的应用,展示了信息科学巨大的生命活力。

本书概念清新,视野宽阔,逻辑严密,深入浅出,不仅可以作为高等学校信息领域各专业高年级大学生和研究生的教科书以及相关领域科技人员自学的参考书,而且可以作为其他领域的广大读者学习信息科学的基本教材。

信息科学原理

钟义信 著

责任编辑 郑捷

*

北京邮电大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京怀柔县新华印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 1/16 印张 22.5 字数 564 千字

1996 年 2 月第一版 1996 年 2 月第一次印刷

印数:1—3000 册

ISBN 7-5635-0235-1/TN·98 定价:28.00 元

谨以此书

献给

师长、父母
母校，以及
热爱信息科学的朋友们

作者
一九九五 北京

前 言

历史上,每一个时代都曾经产生过自己特有的思想和观念,都曾经孕育过一些反映当时对客观规律的深邃认识的辉煌的科学,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源科学,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其中的智力功能作为自己主要的研究目标,而在这些研究的实践中,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、研究方法和思路。另一方面,在信息科学理论的启迪下,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作的一次初步的尝试。

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部等不少单位讲授,均收到很好的效果。它的简缩本曾在许多高等院校、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,也可以作为各界教育工作者、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,反映出信息科学的基本体系,书中安排了四个部分的章节。第一部分是总论,即第一章,给出信息科学的总体概念、学科体系、发展逻辑和历史意义。第二部分是基础,包括第二、三、四章,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。第三部分是基本的原理,包括第五、六、七、八、九章,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)。最后,第四部分是方法论和应用提要,即第十章,给出信息科学方法论的要点以及信息科学的原理和方法在基础科学、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概貌和体系,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,作者有幸得到不少前一届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、我的老师周炯槃教授。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鼓励。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,国内国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,许多理论还远不是尽善尽美;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

1986.12 于北京

再 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,获得了学术界的高度评价和广大读者的普遍喜爱。人们赞誉它是信息科学的“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的指导意义”(信息系统工程杂志,1990 年第一期),“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)。在 1990 至 1991 年间,《信息科学原理》先后获得了国家教委科学技术进步奖、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的洗礼。特别是进入 90 年代以来,全球信息化的浪潮一浪高过一浪,“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的知识,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》的科学思想很好地经受住了时间和实践的考验,表现了它的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,就使新版更简炼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,同时也适度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,本书的新版能为更多的读者提供更好的服务。

作 者

1995 年 8 月于北京

目 录

前 言
再版前言

第一部分 总 论

第1章 信息科学概论

§ 1.1 信息科学	(3)
§ 1.1.1 信息科学的研究对象	(3)
§ 1.1.2 信息科学的研究内容	(5)
§ 1.1.3 信息科学的研究方法	(8)
§ 1.1.4 信息科学的研究目标	(9)
§ 1.2 信息技术	(9)
§ 1.2.1 信息技术的定义与内涵	(10)
§ 1.2.2 信息技术的体系和外延	(12)
§ 1.3 信息科学的崛起及其意义	(15)
§ 1.3.1 信息科学的产生与科学技术拟人律	(16)
§ 1.3.2 信息科学的意义	(19)
§ 1.4 信息科学史略	(22)
参考文献	(29)

第二部分 基 础

第2章 信息的概念与描述

§ 2.1 信息的定义	(33)
§ 2.1.1 关于信息的若干流行说法	(33)
§ 2.1.2 信息的定义及其体系	(37)
§ 2.2 信息的特征、性质与分类	(41)
§ 2.2.1 信息的特征与性质	(41)
§ 2.2.2 信息的分类	(45)
§ 2.3 信息的描述	(48)

§ 2.3.1 概率信息的描述	(48)
§ 2.3.2 偶发信息的描述	(50)
§ 2.3.3 确定型信息的描述	(51)
§ 2.3.4 模糊信息的描述	(55)
§ 2.3.5 语义、语用和全信息的描述	(57)
§ 2.4 信息的若干哲学问题	(59)
参考文献	(63)

第3章 信息的测度

§ 3.1 概率语法信息的测度	(65)
§ 3.1.1 Hartley 方法	(66)
§ 3.1.2 Shannon 概率熵	(68)
§ 3.1.3 Shannon 方法的改进	(74)
§ 3.1.4 信息变差	(82)
§ 3.2 模糊语法信息的测度	(85)
§ 3.3 语法信息的统一测度	(88)
§ 3.4 语义、语用及全信息的测度	(94)
参考文献	(98)

第三部分 原 理

第4章 信息获取原理:识别论

§ 4.1 信息的一般过程及其原理	(103)
§ 4.2 信息的感知	(106)
§ 4.3 信息的识别	(109)
§ 4.3.1 统计识别方法	(110)
§ 4.3.2 模式识别的语言学方法	(111)
§ 4.3.3 神经网络方法	(113)
§ 4.4 机器学习	(114)
参考文献	(118)

第5章 信息传递原理:通信论

§ 5.1 信息传递模型	(119)
§ 5.2 $H(X)$ 分析:传输效率	(124)
§ 5.3 $I(X;Y)$ 分析:抗干扰性	(133)
§ 5.4 $H(X/Y)$ 分析:信息重建	(141)
参考文献	(147)

第6章 信息处理与再生原理:决策论

§ 6.1 信息处理通论	(148)
§ 6.2 信息再生的含义	(152)
§ 6.3 决策的信息模型及求解	(154)
§ 6.4 信息决策方法与经典决策方法的关系	(166)
参考文献	(173)

第7章 信息调节原理:控制论

§ 7.1 控制的基本问题	(174)
§ 7.2 控制问题的描述	(176)
§ 7.2.1 控制对象的描述	(176)
§ 7.2.2 控制目标和效果的描述	(183)
§ 7.3 控制机制分析	(187)
§ 7.3.1 控制的执行机制	(187)
§ 7.3.2 信息加工机制	(189)
§ 7.3.3 稳定性机制	(194)
§ 7.3.4 适应和学习的机制	(200)
§ 7.4 控制的信息法则	(206)
参考文献	(210)

第8章 信息组织原理:系统论

§ 8.1 信息与系统	(212)
§ 8.2 信息与优化	(221)
§ 8.3 信息与自组织:条件	(228)
§ 8.4 信息与自组织:机制	(239)
参考文献	(247)

第9章 信息认知原理:智能论

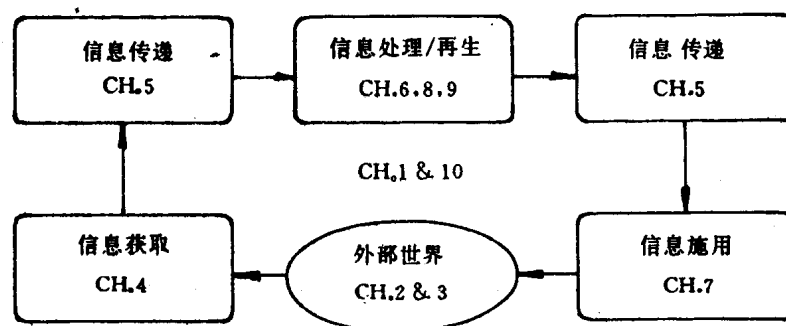
§ 9.1 信息认知的基本概念	(248)
§ 9.2 人工智能理论	(255)
§ 9.2.1 基于语法信息的人工智能理论	(255)
§ 9.2.2 基于语义信息的人工智能理论	(262)
§ 9.2.3 基于语用信息的人工智能理论	(272)
§ 9.3 人工神经网络理论	(282)
§ 9.4 信息·思维·认知	(287)
参考文献	(294)

第四部分 方法与应用

第10章 信息科学方法论及其横断科学含义

§ 10.1 信息科学方法论及其意义.....	(297)
§ 10.2 信息科学与生命科学.....	(303)
§ 10.3 信息科学与社会科学.....	(313)
§ 10.3.1 信息—经济学.....	(314)
§ 10.3.2 信息与管理.....	(327)
§ 10.3.3 信息语言学.....	(332)
§ 10.4 从信息科学到信息社会.....	(337)
参考文献.....	(343)
后 记.....	(345)

本书各章内在联系的信息模型



第 一 部 分

总 论

第 1 章 信息科学概论

第 1 章 信息科学概论

信息科学是一门新兴的科学,迄今为止,文献中还没有普遍公认的定义,也没有建立起明确的边界。因此本书在具体展开对信息科学的概念、原理和方法的讨论之前,首先需要回答一些有关信息科学的总体认识问题,例如:

- 什么是信息科学?
- 它的内容、体系、范围是什么?
- 什么是信息科学的研究背景?
- 它是怎样产生和发展起来的?
- 它对人类的生存和发展具有什么意义? 如此等等。

回答了这些关于总体认识方面的问题后,读者就能体会到为什么应当研究信息科学,为什么本书要这样来安排它的内容。而且,有了比较清晰的总体认识,读者在深入到后面各个章节具体的内容时就能够做到“胸有全局”,懂得应当怎样从整体的联系来把握各个部分的内容,怎样扣住全局的脉络来考察局部的问题,避免“只见树木、不见森林”。

为此,本章第一节将首先给出信息科学的基本定义,解释信息科学的基本问题 and 研究范围。然后,第二节将阐明信息科学的应用层次——信息技术的基本概念,说明信息科学技术对于现代社会发展的意义和影响。紧接着,第三节将阐述科学技术发展的一组重要法则——辅人律、拟人律、人机共生律(为了叙述上的简便,统称为“拟人律”),并应用这些规律揭示信息科学技术在当代崛起的历史逻辑,同时指出信息科学确实确实是信息时代的科学。最后,第四节将简要地介绍信息科学发展的来龙去脉,从历史发展的角度介绍信息科学已有的成就、存在的问题、面临的任务、未来的前景以及信息科学本身所特有的风采。

§ 1.1 信 息 科 学

像定义任何别的科学一样,我们可以把信息科学定义为“研究信息及其运动规律的科学”,而更为精确的定义则是:

信息科学是以信息作为主要研究对象、以信息的运动规律作为主要研究内容、以信息科学方法论作为主要研究方法、以扩展人的信息功能(特别是其中的智力功能)作为主要研究目标的一门科学。

下面,我们就上述定义中的各个要点作一说明。

§ 1.1.1 信息科学的研究对象

以信息作为主要研究对象,这是信息科学区别于其他科学的最根本的特点之一,也是信息

科学之所以能够成为一门独立学科的最根本的前提。

信息是一种独立的研究对象,从本体论的意义上说,它是事物运动的状态和(状态改变的)方式;从认识论的意义上说,它是认识主体所感知或所表述的事物运动的状态和方式。这里所说的“事物”,既可以是外部世界的实在客体,也可以是主观世界的精神现象;而“运动”既可以是物体在空间中的位移,也可以是一切意义上的变化;“运动的状态”是指事物在特定时空中的性状和态势,“运动的方式”是指事物运动状态随时空的变化而改变的式样和规律。

关于信息概念的更为深入的探讨将在第二章展开,然而仅根据上面所引述的信息的含义我们就可以得到一些基本的认识:

第一,信息是普遍存在的一类研究对象;它存在于自然界,存在于人类世界,也存在于思维领域。哪里有事物,哪里有事物的运动,哪里就有事物运动的状态和方式——本体论意义的信息。

第二,信息与物质是既有联系又有区别的两个概念:物质是信息的载体,物质的运动是信息的源泉,但信息只是事物运动的状态和方式,不是事物本身。信息与物质不能等同。

第三,信息与能量也是既有联系又有区别的两个概念:传递信息需要能量,驾驭能量则需要信息;然而,信息是事物运动的状态和方式,能量是物体做功的本领,两者之间有质的区别。

第四,既然本体论意义的信息是事物运动的状态和方式,认识论意义的信息是认识主体所感知或所表述的事物运动状态和方式,那么人类要认识事物就必须取得信息,同样,要变革事物也必须要信息。

显然,我们还可以从上述的信息概念中引出更多的结果(我们把这些工作放到第二章中去完成)。在目前,我们只需要认清上面四点,它们清楚地表明:信息普遍存在;信息不同于物质;信息不同于能量;信息作用巨大。根据这四点认识,我们就可以很自然地得到下面的重要结论:

- 既然信息对于人们认识事物(世界)和变革事物(世界)是十分必要的,那么,为了能够更好地完成认识世界和改造世界的使命,就有必要深入地研究信息问题。

- 既然信息是普遍存在的一类研究对象,那么,人们对信息问题的研究就具有普遍的意义。

- 既然信息不等同于物质也不等同于能量,那么,对信息问题的研究就自然成为一门独立的学科。

这里有两个问题值得思考:

第一,既然上述结论表明信息问题的研究对人类认识和改造世界具有十分重要的意义,那么为什么在人类进入二十世纪中叶以前,信息科学一直没有放到“议事日程”上来?关于这一点,我们将在本章后半部分作出深入的解释。

第二,关于信息科学的独立性的问题。本书强调信息科学是一门独立的科学,最重要的根据之一便是它具有新的独立的研究对象——信息。大体上可以这样认为:传统自然科学(包括物理学、化学、天文学、地学、生物学等等)的基本研究对象是各种层次、各种形态的物质和能量,它们的主要研究内容就是天体物质、地球物质和生命物质的物质结构以及其间所包含的机械的、化学的、生物的各种形式的能量的转换规律。尽管物理学、化学、天文学、地学和生物学领域的各种具体研究对象中都伴随有不同程度的信息问题,然而传统自然科学所关心的却只是其中的物质和能量的问题。在这方面最典型的例子是对生命遗传及思维的研究:虽然我们目前已经明白遗传和思维的关键机制都是信息的过程,但是传统自然科学却只用物质结构和能量转换的观点去研究它们,只求助于生物解剖的经典方法,因而总是很难揭露问题的实质。现

在,信息科学把信息(而不是物质或能量)作为新的研究对象推上了科学的舞台,而信息本身又确实是既不同于物质也不同于能量的独立对象,于是,信息科学的研究必然会形成一门与传统科学有重大区别的新科学。

§ 1.1.2 信息科学的研究内容

信息科学自身所特有的新的独立的研究对象和研究领域,决定了信息科学必然要有自己新的研究内容——研究信息的运动规律。那么,信息科学要研究信息的哪些运动规律呢?这就涉及到信息科学的研究背景问题。图 1.1.1 示出了一种最抽象也是最一般的信息问题模型。

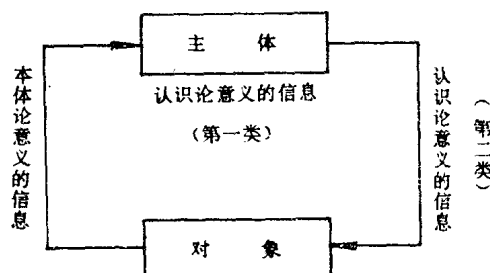


图 1.1.1 信息科学研究内容的抽象模型

图中示出了由认识对象和认识主体以及把它们联系在一起的信息所构成的一种抽象系统:对象(事物)运动的状态和方式是一种本体论意义的信息;被主体所感知的该对象运动的状态和方式是一种认识论意义的信息;为了便于区分,我们称之为第一类认识论意义的信息;由主体所发出(既表述)的主体思维(也是一种事物)运动的状态和方式(代表主体的意志)也是一种认识论意义的信息,我们称为第二类认识论意义的信息。

这个抽象模型包含了如下一些重要过程:

- 对象产生本体论意义的信息。
- 本体论意义的信息转变为第一类认识论意义的信息。
- 第一类认识论意义的信息转变为第二类认识论意义的信息。
- 第二类认识论意义的信息反作用于对象客体,使对象产生新的运动的状态和方式。

其中第一个过程称为“信息的产生”,第二个过程称为“信息的获取”,第三个过程称为“信息的再生”,第四个过程称为“信息的施效或利用”。

以这个抽象模型为背景,信息科学所要研究的信息运动规律至少包含以下四类:

- (1) 信息产生的规律,
- (2) 信息获取的规律,
- (3) 信息再生的规律,
- (4) 信息施效的规律。

但是注意到,图 1.1.1 实际上是一种动态的自学习、自组织、自适应的过程,是一个主客观相互作用的复杂系统。因此,实际上还必须包含:

- (5) 信息传递的规律,
- (6) 信息系统优化或自组织的规律,
- (7) 信息过程智能化的规律。

这当然是在最抽象的层次上来理解的信息科学的研究内容。

如果我们把图 1.1.1 的模型具体化,就可以得到如图 1.1.2 所示的“人类认识世界和改造

世界”的典型模型。

与图 1.1.1 的抽象模型相比,典型模型中“主体”的内容大大地丰富和具体化了。这里示出了“信息识别”、“信息变换”、“信息传递”、“信息存储”、“信息检索”、“信息处理”、“信息表示”、“信息检测”等单元。这些单元在大多数场合都是必要的。有了这些单元,主体认识对象和变革对象的活动才能真正地实现。具体说来,这些单元的作用分别是:

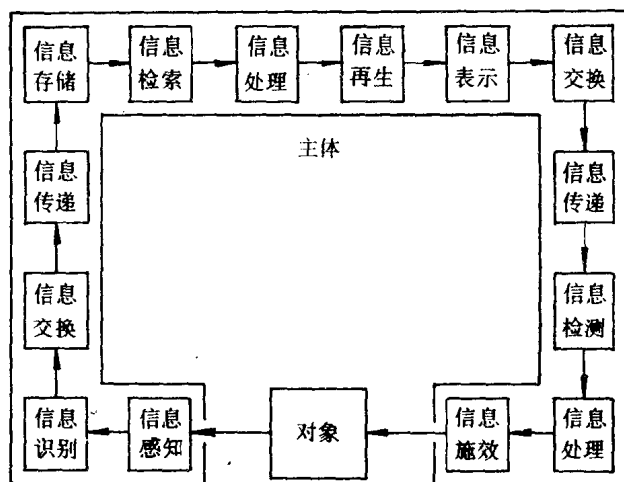


图 1.1.2 人类认识世界和改造世界的典型模型

- 信息感知:完成本体论意义的信息向第一类认识论意义的信息的转变。
- 信息识别:对所感知的信息加以辨识和分类。
- 信息变换:将识别出来的信息施行适当的变换(一般是变换它的载体),以利于下一步的传递。
- 信息传递:将信息由空间的某一点转移到另一点,以供使用。
- 信息存储:收到信息后要以适当的方式存储起来,以备使用时检索。
- 信息检索:需要使用信息的时候,就要把存储着的有关信息准确迅速地取出来。
- 信息处理:在大多数情况下,信息都不能直接使用,而应当先对它们进行某些适当的处理,包括进行分析比较和运算等等。
- 信息再生:经过信息处理,就可能获得关于对象运动的规律性的认识(即获得更为本质的信息),在这个基础上,主体形成自己对对象的策略,换句话说,就是再生出第二类认识论意义的信息。
- 信息表示:主体再生出第二类认识论意义的信息之后,要把它用适当的方式表示出来。
- 信息变换:这里的信息变换的作用同前面的很类似,就是对以某种方式表示的第二类认识论意义的信息进行变换,以利后面的传递。
- 信息传递:把经过变换的第二类认识论意义的信息从空间的某个位置(主体所在处)转移到另一位置(对象所在处)。
- 信息检测:经过传递的信息可能受到噪声等因素的干扰,信息检测的目的和任务就是要将第二类认识论意义的信息从干扰的背景中分离出来。
- 信息处理:为了便于第二类认识论意义的信息发挥效用,还需要对它进行适当的加工。
- 信息施效:第二类认识论意义的信息表现了主体的意志——应当怎样对对象的运动状态和方式进行调整,这种调整(即控制)的作用就称为施效。