

智能理论与技术 ——人工智能与神经网络

钟义信 潘新安 杨义先 著



人民邮电出版社

智能理论与技术

——人工智能与神经网络

钟义信 潘新安 杨义先 著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书讲述智能理论与技术的基本问题。全书共分十章。第一章简单阐述人类思维的信息机制；第二章讲述简单神经网络和人工智能理论的基本概念；第三、四、五章介绍人工智能专家系统的基本理论；第六章讨论专家系统理论与技术的局限性和神经网络理论的新突破；第七、八、九章介绍人工神经网络的基本理论与技术；第十章讲述综合智能系统。

本书可供从事人工智能、神经网络研究、教学的人员参考；也可供有关专业高年级学生阅读。

智能理论与技术

——人工智能与神经网络

钟义信

潘新安 著

杨义先

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：850×1168 1/32 1992年12月 第 一 版

印张：19 8/32 页数：308 1992年12月 北京第1次印刷

字数：512 千字 印数：1—3 000 册

ISBN7-115-04768-5/TN·549 (精) 定价：16.90元

ISBN7-115-04769-3/TN·550 (平) 定价：14.40元

前 言

智能，是现代科学研究的前沿。智能理论正处在重大突破的前夜，已成为科学研究的热点。

在现有的科学技术文献中，人们常常把智能理论等同于人工智能的理论。这自然不够全面，因为，智能理论应当包含两个基本的方面，即探索人类智能的奥秘和在机器中复制人类的智能。人工智能只涉及了后者，它只关心如何使机器具有智能。因此，人工智能的理论只是机器智能的理论。

另一方面，传统的人工智能又常常被理解为计算机的“聪明软件”的编制，因而人工智能也被看作是计算机科学的一个分支。这显然大有偏颇。聪明的机器不仅要有聪明的软件，也要有与软件相适应的硬件系统。而且，这种硬件系统看来不完全是今天 Von Neumann 计算机的硬件框架。

近年重新崛起的神经网络理论，在向智能进军的道路上另辟蹊径，显示了超越传统人工智能（专家系统）的巨大潜力。

那么，智能理论与技术的出路在哪里呢？

信息与认知科学的原理表明，人工智能和神经网络表现了两不同的思维方式。它们具有共同的基础，这就是对信息的处理；只是处理的方法和机制各有千秋。它们相辅相成，正好构成了智能理论的完备框架。

于是，本书的主旨就是要全面地向读者介绍当代科学技术的这

个重要的前沿——智能理论与技术，包括人工智能专家系统与神经网络的理论与技术，并在信息科学和认知科学的理论的基础上寻求两者的有机的综合，从而形成完整统一的体系。

以这样的观念来理解和处理智能理论与技术，是本书最重要的理论特色。

为了阐明智能理论与技术的基本问题，全书安排了十章内容。

第一章是全书的基础，简要地阐明人类思维的信息机制。第二章是智能理论的早期历史回顾，目的在于讲述简单神经网络和通用人工智能理论的基本概念以及它们发展的逻辑。第三、四、五章是人工智能专家系统的基本理论，重点介绍知识获取、表示和处理的方法与原理。第六章试图阐明专家系统理论与技术的局限性和神经网络理论的新突破。第七、八、九章是人工神经网络的基本理论与技术，包括最重要的理论、模型与算法。第十章是人工智能与神经网络在信息科学理论基础上的合璧，并给出智能系统的综合理论模型。最后，全书的结语将展望智能理论与技术在通信方面的应用的前景。

这样的安排将使读者不仅能够学习到人工智能和神经网络的基本理论与技术知识，而且也能够在从中领悟到智能理论发展历程中所包含的深刻的科学逻辑和方法论。

本书所涉及的数学工具主要包括数理逻辑（人工智能部分）、微分方程和概率理论（神经网络部分），大体控制在工科大学生的数学知识的范围内。有些比较专门和比较高深的数学理论，书中指出了必要的参考书目，读者可自行参阅。

应当指出，无论是人工智能的理论和技術还是神经网络的理论与技术，无论是脑科学的理论还是信息科学与认知科学的理论，当前都还处在迅速发展的阶段，由于篇幅的限制，本书不可能对这些发展作出统揽无余的介绍。为此，我们在每章的最后都给出了全章的小结，指出一些重要的新发展和相应的参考文献，供读者进一步阅读和研究。

当然，由于智能理论本身所具有的科学前沿的性质，它还处在不断发展的阶段；又由于本书所具有的探索与尝试的特点；加上作者本身学术水平的限制，书中的缺点错误在所难免。我们诚恳欢迎读者提出批评和建议，以图不断改进和完善。

作者

1991. 12

目 录

第一章 脑与智能	1
1.1 基本概念	1
1.2 脑的结构与功能	7
1.3 意识与逻辑思维	18
1.4 思维的信息模型	23
本章小结	28
参考文献	29
第二章 从神经网络到专家系统	31
2.1 早期神经网络	31
2.2 结构主义的困难与功能主义的兴起	41
2.3 早期的通用智能理论	48
2.4 全能系统与专家系统	56
本章小结	61
参考文献	61
第三章 专家系统的知识获取	64
3.1 非自动型知识获取	66
3.2 机器感知	78
3.3 机器识别	96
3.4 机器学习	120

本章小结	128
参考文献	129
第四章 专家系统的知识表示	131
4.1 逻辑表示法与产生式系统	132
4.2 语义网络与概念相依	150
4.3 框架理论与剧本	169
4.4 不精确知识的表示	186
本章小结	194
参考文献	196
第五章 专家系统的知识处理	198
5.1 问题求解中的搜索与匹配	198
5.2 形式演绎推理与非单调推理	225
5.3 不精确推理	243
5.4 问题求解的规划方法	262
本章小结	285
参考文献	286
第六章 从专家系统到神经网络	289
6.1 MYCIN: 一个医疗专家系统	289
6.2 专家系统的建造	305
6.3 专家系统的瓶颈与神经网络的复兴	311
6.4 神经网络通论	316
本章小结	328
参考文献	329
第七章 神经网络理论	332
7.1 连续非线性动力学系统及其稳定性	332

7.2 离散非线性动力学系统及其稳定性	350
7.3 联想记忆与信息容量	380
7.4 联想映射与模式分类	391
本章小结	402
参考文献	404
第八章 神经网络模型	406
8.1 反馈网络模型	408
8.2 前馈网络模型	436
8.3 随机网络模型	450
8.4 自组织网络模型	468
本章小结	485
参考文献	486
第九章 神经网络学习算法	489
9.1 模拟退火算法	489
9.2 δ -算法与 BP 算法	507
9.3 竞争学习与相互激励	523
9.4 其它学习算法	537
本章小结	554
参考文献	556
第十章 综合智能系统：人工智能与神经网络的合璧	559
10.1 作为专家系统的神经网络	560
10.2 神经网络的弱点	569
10.3 全信息与模糊集	578
10.4 综合智能系统模型	590
本章小结	600
参考文献	601

结束语 智能技术在通信中的应用提要.....	604
------------------------	-----

第一章 脑与智能

智能的核心是思维，思维的器官在大脑，而大脑活动的主要内容是处理信息。因此，任何有关智能的理论，都不能离开对大脑信息处理机制的剖析。我们的研究，就从这里开始。

本章将首先阐明智能、思维、信息和知识的基本概念，建立必要的共同语言。然后讨论脑的结构、功能及其处理信息的机制与模型。显然，本章是全书的基础，是智能理论的出发点和归宿。

1.1 基本概念

毫无疑问，人的活动（特别是人的智力活动）是一切智能系统的现实原型。而任何有关智能的正确理论，几乎都是从人的活动过程中抽象、提炼和升华出来的。因此，在深入研究智能理论之前，先来考察一下人的活动（特别是人的智力活动）是很有必要的。

图 1.1 示出了人的活动过程的一般模型。

图中表明，人在外部世界中的活动通常由感觉器官的活动开始。它感受到外界环境的运动变化，通过传导神经系统把感受到的运动变化传递给思维

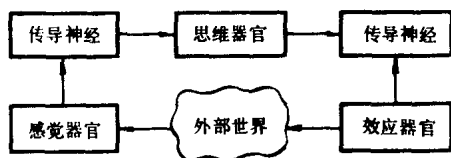


图 1.1 人的活动过程模型

器官，后者对这种运动变化的含义及效用进行分析并对自己应当采取的行动策略作出选择。然后，通过传导神经系统把选定的行动策略传递给效应器官，效应器官就产生相应的行动，作用于外部世界。

这是人的活动过程的一个最基本的回合。

第二个回合仍然从感觉器官的活动开始：它把在效应器官作用下外部世界运动状态的新情况传递给思维器官，后者则对新情况进行分析并对效应器官作用的效果进行判断，从而决定是否需要对原来的行动策略进行修正，并进而控制效应器官对外部世界的后续作用。

此后，还可能第三回合、第四回合……，直至满意为止。这里所说的“满意”，就是指在人与人所作用下的外部世界（即环境）之间达成某种有利于人的生存与发展的条件。

一般来说，在正常的情况下，无论外部环境怎样改变，人都能找到适当的行动策略来实现自己的生存与发展。这就是人的智能。人类如果没有这样的智能，就或迟或早会被变化的环境所淘汰、所灭绝。

这样，我们就引出了智能的一个最直观最浅显的定义：智能，就是在各种环境下寻求适当的行动策略来实现自己某种目的能力。也可以说：智能，就是在任意给定的环境和目的的条件下正确制定决策和实现目的的能力。在这里，给定的环境和目的是问题的约束条件，制定正确的决策是智能的中心环节，而有效地实现目的，则是智能的评判准则。

不过，为了深化智能的概念，我们需要引入一个更基本的概念：信息。

什么是信息？它与智能有什么关系？

控制论的奠基人 N. Wiener 曾经指出：信息就是信息，不是物质也不是能量^[16]。信息论的创始人 C. E. Shannon 则认为：信息是用来消除观察者认识上的不定性的东西^[12]。此外，还有其它种种不同的信息定义。由于篇幅所限，这里不一一介绍，有兴趣的读者可以参阅本章所附的有关文献。

本书作者之一在研究大量文献的基础上对信息的定义提出了新的见解^[20]，本书将按照这种认识来理解信息的定义，并按这种理解来阐述智能与信息的关系。

这种见解认为，信息是一个复杂的概念，具有许多不同的层次。人们之所以对信息提出了数以百计的不同定义，重要的原因之一就是不同人从不同的层次上来考察信息，因而得出了不同的认识。如果我们能够科学地划分信息的层次，并准确地理解各个层次的信息定义，然后阐明各个层次信息定义之间的联系与区别，我们就可以全面而深刻地把握信息的概念。他进一步指出：划分信息概念层次的主要依据是约束条件。给定什么样的约束条件就对应于什么样的信息概念层次，在什么层次上定义的信息概念就具有什么样的适用范围，如表 1.1 所示。

表 1.1 信息定义的层次结构

约 束 条 件	层 次	适 用 范 围
最弱	最高	最广
⋮	⋮	⋮
最强	最低	最窄

分析表明，在全部层次序列中，最基本也是最重要的层次是本体论层次和认识论层次。本体论层次是没有任何约束条件（即约束最弱）的层次，因而是最高的层次，最广泛适用的层次；认识论层次具有一个约束条件——必须考虑认识主体，因此不是最高层次，只适用于有主体存在的场合。

显然，从理论研究的意义上说，本体论层次的信息定义是最基本的，因为它在没有任何其它因素的干扰下揭示了事物信息的实质。但是，从实际应用的观点来看，认识论层次的信息定义是最有用的，因为不仅考虑了客体的因素，而且考虑了主体的因素，更适合于实际应用的需要。下面就是这两个层次的信息定义的具体表述。

本体论层次的信息定义：事物的信息，就是事物运动的状态及其变化的方式。

认识论层次的信息定义：信息，就是主体所感受或所表述的事物运动的状态及其变化的方式。

这里，“事物”是外部世界的实在客体与主观世界的精神现象的泛称；“运动”是泛指一切意义上的变化。此外，“事物运动的状态”通常由事物内部结构的状态及其外部联系的状态所决定，因此，“事物运动的状态”也就是“事物内部结构及其外部联系的状态”。显然，“主体所感受的事物运动的状态及其变化的方式”是主体从外部世界所接收到的关于该事物的信息，而“主体所表述的事物运动的状态及其变化的方式”则是主体所发出的关于该事物的信息。

比较上述两个层次的信息定义可以发现，两者所关心的内容是相同的，都是“事物运动的状态及其变化的方式”，因此，两个层次的信息定义是相通的。不同之处仅在于：本体论层次的信息定义不受任何条件的限制，因而适用范围最广；认识论层次的信息定义则必须满足一个约束条件——必须考虑认识主体，而且必须站在主体的立场来研究问题。这样，如果给本体论层次的信息概念增加一个主体约束，它就转化为认识论层次的信息概念；反之，如果给认识论层次的信息概念消去主体的约束，它就会转化为本体论层次的信息概念。

不过，由于引入了主体，认识论层次的信息概念就具有了更丰富的内涵。

具体来说，由于主体具有观察能力，因此他将首先关心或注意到“事物运动状态及其变化方式”的形式，这就是“语法信息”。同时，由于主体具有理解能力，因此他也必然会关心“事物运动状态及其变化方式”的逻辑含义，这就是“语义信息”。正常的主体还具有目的性和评价能力，因此，他必然最终要关心“事物运动状态及其变化方式”对他的目的的效用，这就是“语用信息”。一般来说，“事物运动状态及其变化方式”的形式、含义、效用是不可分割地联系在一起，因此，语法、语义、语用信息乃是认识论层次信息概念的三位一体，称为“全信息”。

有了这样的信息概念，我们就可以把图 1.1 转换为图 1.2。

图 1.1 到图 1.2 的翻译是很自然的。因为，感觉器官的功能主要就是为了从外部世界获取信息，感知外部世界事物运动的状态及其变化的方式。而且，就感觉器官本身而言，它只能感知语法信息。这种信息经过传导神经系统送到思维器官，在这里大脑给“事物运动状态及其变化方式的形式”赋予相应的含义，并对它的效用作出评估，即把感觉器官所感受到的经过传导神经系统所传来的语法信息转换为包括语法、语义、语用信息在内的全信息；然后，通过分析计算产生出有利于自身生存发展的策略信息。因此，思维器官的主要功能是处理信息和再生信息。由思维器官再生出来的策略信息本来也是一种全信息，是一种对主体生存发展而言具有最大或较大效用的新的全信息。但是，传导神经系统只需把这种新的全信息中相应的语法信息传递给效应器官。效应器官的功能则主要是按照策略语法信息的引导，对外部世界的事物产生相应的反作用，改变或维持该事物的运动状态和状态变化的方式。换言之，效应器官的主要功能就是使策略信息发生效用。

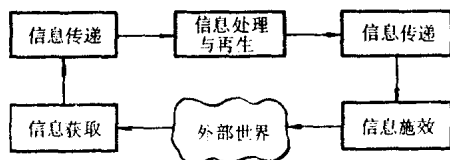


图 1.2 人的活动过程的信息模型

对比图 1.1 和图 1.2，我们就可以很自然地把前述的直观的智能定义引向一个更深的层次。换句话说，现在就可以把智能具体地定义为“有效地获取、传递、处理、再生和利用信息，从而在任意给定的环境下成功地达到预定目的的能力”。

这一定义表明，智能的关键是获取、传递、处理、再生和利用信息的能力。对于同样的环境和目的，谁具有更强的获取、传递、处理、再生和利用信息的能力，谁就能够更成功地达到目的，谁就会被认为具有更高的智能水平。这是合理的结论。

由上述智能定义和图 1.1、图 1.2 也可以引出另一个结论：智能包括获取信息的能力、传递、处理和再生信息的能力、以及利用信

息来解决问题达到目的的能力；而思维功能则主要是指处理和再生信息的能力。因此，思维功能只是智能的一部分，而不是全部。或许，我们至多可以把思维能力看作是一种狭义的智能。

另一方面，我们也必须承认，思维能力是整个智能活动中最复杂最核心的部分。正如前面所指出的，在智能活动的其它环节，信息获取、传递和利用都只涉及语法信息，而在思维（信息处理与再生）过程中却要同时涉及语法、语义和语用信息，而且，究竟怎样通过对于外部事物的全信息的处理再生出新的反映主体利益要求的策略全信息，这在很大程度上仍然是一个没有解开的谜。当然，这并不是说，人的获取信息、传递和利用信息的全部机制都已经澄清了。可是，相形之下，人脑处理和再生信息的奥秘却笼罩着更为浓重的神秘色彩。我们将在本章的末尾来探讨人脑处理和再生信息的可能机制，而在这里，只要认识到人脑思维的本质乃是处理和再生信息就够了。

至此，我们便阐明了智能的定义、信息的定义、智能与信息的关系、以及智能与思维的关系。

不过，还有一个问题需要加以澄清。这就是信息与知识的概念与关系问题。

前已述及，认识论层次的信息概念是最有实用意义的，它是认识主体所感受或所表述的事物运动状态及其变化的方式，包括这些状态/方式的形式、含义和效用。本体论层次的信息概念比较简单，它就是指事物运动的状态和状态的变化方式。

就一般的意义而言，知识是人类实践经验的总结和提炼，具有抽象和普遍的品格，是属于认识论范畴的概念，与认识论层次的信息概念具有天然的联系。可以认为，任何知识都是对（某类）事物运动状态及其变化方式（规律）的概括性表述。因此，任何知识都可以被理解为信息（认识论层次的信息）。反之则不然：认识论层次的信息不一定就是知识，因为这种信息不一定具有抽象和普遍的品格。在这种意义上可以说，知识是信息加工的产物，是抽象化和普

遍化的信息。

然而，读者应当注意，在现有人工智能的文献 [11、17 等] 中，知识的概念被大大地泛化了。人工智能文献中的知识概念完全等同于本书所阐明的信息概念——事物运动的状态以及状态变化的方式。在这些场合，二者互为同义语。

那么，为什么人工智能理论要采用“知识”这一术语而不采用“信息”这一术语呢？人工智能理论采用知识这一术语，一方面是要表明人工智能系统与一般计算机不同：计算机处理的对象是数据，而人工智能系统处理的对象可以是数据也可以是符号；另一方面也是为了表明人工智能与通信理论的区别：通信理论的信息概念是概率型的语法信息，而人工智能理论的信息概念既可以是概率型的，也可以是非概率型的；既可以是语法信息，也可以是语义或语用信息。

总之，无论是信息的概念还是知识的概念，它们共同的要义是事物运动的状态、状态变化的方式，以及这些状态/方式的形式、逻辑含义及效用。这些是信息与知识的本质。在本书后续的章节中，我们也把信息与知识这两个概念作为同义语来使用，除非另有特别的说明或强调。

最后，还要顺便指出，在神经网络的文献中，往往既不使用术语“信息”也不使用术语“知识”，而是使用“输入”、“输出”、“模式”、“刺激”、“反应”等术语。但是，只要它们是表现“事物运动的状态及其变化的方式”的，那么，它们就是信息的别名。

1.2 脑的结构与功能

现代神经科学的研究指出，所有行为都是脑功能的某种表现，思维、学习、智力也不例外。因此，研究智能理论与技术就不能不考察一下脑的结构与功能。

脑位于颅腔内，由延髓、脑桥、中脑、小脑、间脑和大脑六大部分组成，如图 1.3 所示。