

人工智能原理

石纯一 黄昌宁 王家 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了人工智能原理的基本内容,包括自动推理、知识表示、机器学习和自然语言理解等四个部分。全书共分十章:依次讨论了归结方法、不确定推理方法、非单调推理方法、定性推理方法,知识表示方法,机器学习的基本概念以及由实例和基于解释的学习方法,最后讨论了自然语言的语法、语义分析。

本书可作为大学计算机系高年级大学生和研究生“人工智能原理”课程的教材。也可作为从事计算机学科研究的教师和科研人员参考。

(京)新登字 158 号

人工智能原理

石纯一 黄昌宁 王家 编著

清华大学出版社出版

北京 清华园

顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本: 850×1168 1/32 印张: 14.25 字数: 371 千字

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数: 0001—6000

ISBN 7-302-01307-1/TP·502

定价: 8.50 元

人工智能及其应用丛书编委会

主 任：常

副主任：张 钹

委 员：(按姓氏笔划)

边肇祺	朱雪龙	吴中权	李衍达
李幼哲	林尧瑞	周远清	徐光

人工智能及其应用丛书书目

1. 人工智能导论
2. 人工智能原理
3. 人工智能基础
4. 专家系统原理与实践
5. 知识工程——知识库系统
6. 人工智能程序设计
7. 智能机器人
8. 计算机视觉及其应用
9. 计算机语音处理与识别
10. 智能控制系统
11. 图形的识别与理解
12. 自然语言理解

出版说明

人工智能自 1956 年问世以来的三十年间已经取得了一些进展,并正在引起越来越多人的重视。它的基础研究难度大,如知识表示、推理方法、机器学习等问题虽取得了一些成果,但还远未形成完整的理论和体系。在应用研究方面,近十多年来成绩显著,像大家熟知的专家系统,已广泛应用于各种性质不同的领域,从工业、农业到医学,从商业、教育到军事,都取得了不少实际成效,有的还形成商品投入市场。这些进展正吸引着各类专家加入人工智能的研究队伍,他们之中有计算机学家、心理学家、语言学家、数学家、哲学家和各部门的工程技术人员。近几年来还有为数不少的企业家也加入这支庞大的队伍。世界各地已成立了几十、上百个销售人工智能产品的企业和商号,组成了一支号称“人工智能商业”的队伍。这股研究和开发人工智能技术的热潮目前也正在我国兴起。

人工智能为什么具有这么大的吸引力?与其说由于它的已有成就,不如说是由于它的潜在能力。专家们已经看到,人工智能将使计算机能够解决那些至今人们还不知道如何解决的问题,从而大大地扩充其用途。它将带来计算机硬件和软件的革命。人工智能正向各个领域渗透,带来这些领域的更新换代。智能计算机管理,智能计算机辅助设计,智能机器人等新的研究领域,由于人工智能的发展而不断出现。人工智能的发展还有助于我们进一步理解人类智能的机制。这一切都将促进和加快社会经济的发展,因此受到各国的普遍重视。

为了满足广大读者的需要,我们组织编写了《人工智能及其应用》这部丛书并准备通过这部丛书向大家介绍人工智能的基本原理及其主要应用技术。包括人工智能原理与基础,知识工程与专家

系统, 计算机视觉, 计算机语言学, 计算机语音处理与识别, 智能机器人学以及智能控制等内容。全书将分十多册在两、三年内陆续出版。

清华大学自 1979 年就开始人工智能的教学和科研工作。十年来, 共开设了十多门与人工智能有关的本科生与研究生的课程, 进行了几十项人工智能的科研项目。这部丛书的内容基本上来自上述工作, 丛书的作者都是上述教学、科研工作的参加者。多数书是集体合作写成的, 仅署名的作者就有几十位。有的内容取自本科生或研究生的论文, 实验研究的成果, 所以确切地说, 这部丛书是集体劳动的成果。

由于人工智能是一门正在发展中的学科, 尚未形成自己的完整体系, 所以收集在这部丛书里的内容, 不可能全是系统和成熟的, 这些将留给读者自己去判断。

这部丛书可作为计算机、自动化、无线电等有关专业的本科生或研究生的教材, 也可作为一般工程技术人员和科学工作者的参考书。

欢迎广大读者对本书提出批评与改进意见。

前 言

人工智能是计算机科学的一个分支,已有 30 多年的历史。人工智能是研究计算机实现智能的原理以及建造智能计算机的学科,人工智能的研究将使计算机达到高层次的有效的应用。

符号主义和联结主义(神经网络)是两种不同的智能观,也是实现机器智能的两种不同的途径。本书限于依符号观点来介绍人工智能的。人工智能的发展是有曲折的,但仍不断地取得进展,60 年代专家系统的出现,70 年代知识工程的提出,都有力地促进了人工智能的进展。

利用知识——特别是依于人类经验的启发式知识——是人工智能方法与传统的数学方法的根本不同之处,基于此,人工智能可以解决众多的难以数学表达的非结构化的实际问题。利用知识以及知识表示就成了人工智能研究的核心。近年来诸如知识工程、自然语言理解、计算机视觉等都是人工智能的主要研究方面。像专家系统及其开发工具、自动推理、机器学习已成为研究的热点。

本书介绍了人工智能的基本内容,包括自动推理(归结方法、不确定推理、非单调推理、定性推理)、知识表示、机器学习和自然语言理解等四个部分,其中部分内容反映了编著者的研究成果。

清华大学计算机系把“人工智能原理”作为研究生的学位课程,讲授约 50 学时。本书是编著者们在讲授这门课程时所编写的“人工智能原理讲义”的基础上完成的。既然作为研究生教材,所介绍的内容有一定的深度,同时注意了反映近年来较新的研究成果。

由于编著者水平所限,书中错误与不当之处在所难免,请读者批评指正。

石纯一 黄昌宁 王家
于清华园

目 录

出版说明	()
前言	()
第一章 人工智能概述	(1)
1.1 人工智能的诞生和发展	(1)
1.2 什么是人工智能	(5)
1.3 90 年代初人工智能进展	(7)
第二章 归结推理方法	(11)
2.1 命题逻辑的归结法	(11)
2.2 子句形	(14)
2.3 Herbrand 定理	(26)
2.4 归结原理	(40)
2.5 归结过程的控制策略	(57)
2.6 归结法与 prolog 语言	(64)
2.7 非归结法	(68)
第三章 不确定和非单调推理方法	(82)
3.1 概述	(82)
3.2 不确定推理方法	(87)
3.3 非单调推理方法	(116)
3.4 定性推理方法	(130)
第四章 知识表示方法	(145)
4.1 概述	(145)
4.2 逻辑表示法	(148)
4.3 产生式表示法	(151)
4.4 语义网络表示法	(155)
4.5 框架表示法	(164)

4.6	面向对象的表示法	(168)
第五章	机器学习	(170)
5.1	为什么研究机器学习	(170)
5.2	什么是机器学习	(172)
5.3	机器学习的发展历史	(174)
5.4	学习的一种模型	(176)
5.5	机器学习的分类	(178)
5.6	机器学习的研究目标	(182)
5.7	机器学习的特点	(183)
第六章	实例学习	(185)
6.1	实例学习的两个空间模型	(185)
6.2	实例学习的分类	(195)
6.3	学习单个概念	(196)
6.4	学习多个概念	(213)
6.5	学习多步任务	(221)
6.6	基于解释的学习	(236)
第七章	其它学习方法	(255)
7.1	记忆学习	(255)
7.2	传授学习	(257)
7.3	类比学习	(259)
7.4	观察与发现学习	(267)
第八章	自然语言理解的任务和发展简史	(307)
8.1	什么叫自然语言理解	(307)
8.2	以关键词匹配为主流的早期历史	(309)
8.3	以句法-语义分析为主流的中期历史	(319)
8.4	以走向实用化和工程化为特征的近期历史	(329)
第九章	句法分析	(333)
9.1	句法分析的地位	(333)
9.2	短语结构语言	(336)
9.3	乔姆斯基体系	(341)
9.4	语言串理论	(348)

9.5	转换语法	(363)
9.6	ATN 语法	(381)
9.7	句法分析的确定性算法	(393)
9.8	基于合一的语法理论	(400)
9.9	定子句语法	(411)
第十章	语义分析	(423)
10.1	谓词-变元	(423)
10.2	LFL 的形成规则	(424)
10.3	动词	(425)
10.4	名词	(427)
10.5	限定词	(428)
10.6	代词	(432)
10.7	副词	(433)
10.8	形容词	(436)
10.9	介词	(437)
10.10	连词	(439)
10.11	LFL 中的非词义谓词	(441)
10.12	索引算子	(443)
参考文献	(446)

第一章 人工智能概述

这一章就人工智能(机器智能)的出现、发展,什么是人工智能以及当前人工智能学科主要的研究方向做一概括性的介绍。

1.1 人工智能的诞生和发展

产业革命使人类从事的笨重的体力劳动由机器代替了,人们能以轻微的体力操纵机器便可搬动沉重的物体,也可以说体力被机器放大了。随着计算机的出现和日益广泛的应用,自然会提出人类的智力活动由机器来实现、由机器来放大的问题。数学家 Descartes 曾对制造有理智的机器发生过兴趣,他认为有些事情人能做而机器不能做。数学家 Turing 1950 年在《Mind》杂志上发表了“计算机与智能”的著名论文,并提出了如何判别一台计算机是否有智能的实验方法。然而时至今日计算机能不能有智能、能不能思维还没有完整的论证,仍有争议。这里涉及到对“智能”认识的发展以及对脑力劳动与体力劳动的界限划定的不断推移。比如,对于计算机所完成的数字计算,人们已习以为常地不一定把它看成是高级的智能行为了。

几十年来,人们一直把计算机视作只会熟练准确地运算数字的较为蠢笨的东西,尽管它运转速度快得惊人。然而当今现实世界要处理的大多数问题并不是数值计算,像语言的理解和翻译、图形声音的理解、决策管理等都不属数值计算范畴。特别像医疗诊断类问题,明显地需要通过大夫本人高超的专门医学诊断本领(不是计算),也就是专门的特有的经验知识才能得出正确的诊断。这种由

“数据世界”到“知识世界”的转化,由数据处理范围扩展到符号知识处理范畴的转变是人工智能诞生的重要因素。有人说:只有不受数字约束的思维之光,才能照亮奥秘领域所蕴含的真理。

试探性的搜索、启发式的不精确的模糊的甚至允许出现错误的推理方法更符合人类的思维过程。这种观点指导着人工智能的求解方法。相当多的问题求解是复杂的,常常没有算法可遵循,或即使有计算方法也不是当今计算技术所能实现的,这类问题的求解可行的方法是搜索、试探,加上经验的启发式知识。模糊性是人类思维的重要特征,应该用来描述问题、描述知识和求解智能问题。有人说,早该把一切经过精确计算、定量的偶像从神坛上推倒了。而启发式方法,“即天才洋溢,又疏忽大意、不受拘束,巧妙而富有人性”,能把复杂问题大为简化,可在浩瀚的搜索空间中迅速找到解答。这是一种来自专门领域的经验知识,自然限于特定场合,经常会取得成功但又不能保证必然成功,常能求得有关问题的满意的解答,但不是数学上的最优解。

上述观点促使了人工智能学科的诞生。1956年美国的几位心理学家、数学家、计算机科学家、信息论学家在 Dartmouth 大学召开了会议,提出了人工智能这一学科,现在就认为人工智能学科是这时建立的,已有 30 年的历史。

人工智能学科 30 年来的发展是出现过曲折的。人工智能的创始人 Simon 等人曾认为:一些推理的定律加上强大的计算机可以达到专家水平和超人的能力。随之对机器实现智能当时理解得过于容易、过于乐观,讲了一些“大话”,这些预言至今没有实现,影响了人工智能的信誉。1958 年他们说过,过不了 10 年计算机将成为世界象棋冠军、计算机将找到并证明当时未被证明的重要的数学定理、大部分心理学理论将采用计算机程序的形式。30 年过去了,实际上象棋程序被战败了,除“四色问题”计算机并没有证明出重要的人还未证明的定理。当用计算机做两种文字间的翻译时,最初

采用的主要办法是依一部词典的词到词的简单映射方法, 结果没有成功, 还出现了笑话。如英语和俄语间的翻译: 句子: Out of sight, out of mind, 原意是眼不见心不烦, 而译成俄文却成了“又瞎又疯”。曾设想 80% 的翻译可用这种简单办法实现, 而剩下的 20% 由特别设计的程序来处理, 然而剩下的 20% 却非常难以对付。这种情况的出现使英国、美国政府中断了对大部分机器翻译项目的资助。又如 1965 年“归结推理方法”的出现, 当时被说成是重大突破, 但很快发现这办法从计算量看今天还难于使用。证明“连续函数的和仍连续”, 是微积分学中的简单事实, 可使用归结法来证明时归结出几十万个子句尚无结果。这些都使人工智能在人们心目中的地位下降了。随后由于美国专家系统的出现, 1977 年 Feigenbaum 提出了知识工程, 以及日本五代机计划的提出, 使人工智能的研究又热了起来。

至今对人工智能学科的看法仍有赞成派和反对派。赞成的乐观者确信可建立人工智能, 也就是机器可实现智能。像 Simon, Newell, Minsky 都持这种观点, 甚至有人说人就是人工智能存在的定理。批评者说他们把天然智能解释得过于简单而夸大了技术上的可能性。反对派的代表是哲学家 Drayfus(已译为中文的《计算机不能做什么?》的作者), 认为人的思维与机器思维并无共同之处, 批评乐观主义者的观点是 20 世纪的炼金术。Von Neumann 也说过计算机不会有智能。乐观派批评他们把思维神秘化了。

尽管人工智能的发展过程中曾遇到过困难, 但从事人工智能学科研究的人们仍坚持努力工作并取得了进展。也只有建立起有说服力的智能程序和人工智能的广泛应用, 才能证明人工智能学科的真实意义。

从 50 年代算起, 人工智能的发展情况是这样的。50 年代以游戏、博弈为对象开始了人工智能的研究, 其间以电子线路模拟神经元及人脑都并没有成功。1956 年 Newell 等开发了 Logic Theorist

程序,应用了启发式技术而不是穷举法。60年代前期以搜索法、一般问题求解的研究为主。1963年 Newell 发表了问题求解程序,走向了以计算机程序来模拟人类思维的道路,第一次把求解方法和问题的领域知识分离开。1960年 McCarthy 建立了人工智能程序设计语言 Lisp。60年代后期,机器定理证明取得重大进展,对规划问题也作了研究。1965年 Robinson 提出了归结原理,1968年 Quillian 提出了语义网络的知识表示方法。这阶段还出现了专家系统 Dendral 和 Macsyma。

70年代前期,人工智能受到责难。但人工智能学者仍进行了有成效的研究。以自然语言理解、知识表示的研究为主。特别是认识到仅靠推理是不够的,知识对于实现智能最为重要。1972年 Winograd 发表了自然语言理解系统 SHRDLV,1973年 Schank 提出了概念从属的表示法,1974年 Minsky 提出了重要的框架表示法,这时 Prolog 程序设计语言出现。70年代后期,以知识工程、认知科学的研究为主。1977年 Feigenbaum 提出了知识工程,专家系统开始广泛应用,出现了专家系统开发工具,人工智能产业日益兴起。

80年代,以推理技术、知识获取、自然语言理解和机器视觉的研究为主。开始了不确定推理、非单调推理、定性推理方法的研究。机器学习或知识获取已成为人工智能界的热门话题。机器翻译系统已成商品。

现今,人工智能正朝着实用化迈进,不再限于理论讨论,全世界已有几千个专家系统在使用着。讲口语的自然语言理解(限定领域不限定人)已达每秒一句话的量级。视觉方面,机器人驾驶的汽车在自然景致的野外环境下已能达到人们一般散步的速度。

1.2 什么是人工智能

对于人工智能还难以给出严格的定义,但可从不同侧面作些描述。

人工智能是计算机科学的一个分支,是研究使计算机来完成能表现出人类智能的任务的学科。主要包括计算机实现智能的原理、制造类似于人脑的智能计算机、以及使计算机更巧妙些实现高层次的应用。它涉及到计算机科学、心理学、哲学和语言学等学科。总的目标是增强人的智能。

还可以说,人工智能是研究怎样使计算机来模仿人脑所从事的推理、学习、思考、规划等思维活动,来解决需人类专家才能处理的复杂问题。如医疗诊断、石油测井解释、气象预报、运输调度和管理决策等课题。从实用观点看,人工智能是一门知识工程学:以知识为对象,研究知识的获取、知识的表示方法和知识的使用。

同传统的计算机程序相比较,人工智能首先研究的是以符号表示的知识而不是数值数据为研究对象。其次,采用的是启发式推理方法而不是常规的算法。另外,控制结构与领域知识是分离的,还允许出现不正确的解答。

进而要问智能是什么?如何理解智能?至今人们对智能的认识还很肤浅,仅介绍几种观点。

Turing 提出的智能实验,参加者是计算机、被实验的人以及主持实验的人。由主持人提出问题,计算机和被实验的人来回答,被实验者在回答问题时尽可能地向主持人表示他是“真正的”人,计算机也尽可能逼真地模仿人的思维。如果主持人通过听取对问题的回答分辨不出哪个是人的回答时,便可认为被试验的计算机是有智能的了。有人对这样设计的实验提出了疑义:认为这种实验只反映了结果的比较而没有涉及思维的过程,而且也没明确此人

是个孩子还是有良好素质的成年人参加了实验。

当一个计算机系统能给出有关问题的正确答案或有用的建议、而解决问题所用的概念和推理与人相当、还能解释推理过程时,便可说这样的计算机系统是有智能的了。

Feigenbaum 认为只要告诉机器做什么,而不告诉怎么做,机器便能完成任务时,就可以说机器有智能了。

渡边慧说,人类智能主要体现在演绎能力和归纳能力,机器具有这种能力就是有智能了。

近年来对人类智能的理解上形成了两种不同的观点。一种观点称做符号主义:认为人类的智能基本单元是符号,认知过程就是符号表示下的符号运算,从而思维就是符号计算,这种观点是基于“物理符号系统假设”。一些成功的专家系统、自然语言理解系统等都是基于这种观点的。另一种观点称做联接主义,即人工神经网络:认为智能的基本单元是神经元,认知过程是由神经网络构成的,是并行分布的,而不是符号的运算。这种观点可避免知识表示问题,带来的新问题是各神经元联接的权值设定的困难。一般说来,人工智能系统可分两类:一类是以物理符号的途径实现的;另一类是用联接机理的途径实现的。两种途径各有优缺点,如能用其所长避其所短或把两者结合起来就更合适些。

当今衡量一个程序是否是一个智能程序,常常从其自然语言理解能力、自动推理能力以及机器学习能力来分辨。从这种观点看,多数程序不是智能程序,少数程序可视作智能程序的雏型,原因是人们对机器学习以及自然语言理解的机理的认识还是很初步的。

对计算机会不会有智能或者说计算机能不能思维这个有争论的问题,我们可以这样来理解。“人的思维过程不是神,人脑是物质的就应该可以认识,一旦掌握了规律便可由机器来实现,这样的看法应该说是正确的。然而人脑在进展,机器又是要人来制造的,从

这点看不能说可以完全由机器来代替人脑,部分地代替是没有问题的”。

我们还可以问人工智能学科的基础理论是什么?有的学者认为人工智能学科不需要基础理论的指导,说在没有空气动力学的情況下就造出了飞机。这是实干派的观点,有人称他们为“鸟飞派”。多数学者认为人工智能学科也要有理论,针对“鸟飞派”说应该回到空气动力学。我们认为:人工智能学科要有理论也要有实践,认知科学(或思维科学)是人工智能的理论基础;可把人工智能列入认知科学内的一种工程技术学科;从认知观点看,当今人工智能仅限于逻辑思维范围是不够的,要考虑形象思维、灵感思维方能促进人工智能的重大发展;数学常被认为是多种学科的基础科学。它在机械运动中、复杂的无组织的如分子运动中都有重要贡献。数学还应进入语言、思维领域,人工智能学科不借用数学工具是不可想像的。数学在人工智能中远没有发挥作用,仅限于标准逻辑、模糊数学以及一些搜索方法的使用。数学应进入人工智能学科,人工智能学科应促进数学的发展,两者将相互促进。

1.3 90年代初人工智能进展

在物理符号系统假设和基于知识的启发式求解方法指导下,在专家系统、机器翻译、机器视觉、问题求解等方面的研究已有实际应用。80年代以来,对知识表示、常识推理、机器学习、分布式人工智能以及智能机器体系结构等基础性研究方面也取得了可喜的进展。区别于物理符号假设的联结主义,在神经网络研究方面也有明显地进展,它避开了知识表示带来的困难,而神经元间联结的权值选取又成了难题。人工智能研究目前处于什么状态说法不一,认为失败的毕竟是少数,多数认为近年来没有重大突破,甚至出现了某种程度的踏步不前。这值得人工智能学术界反思, Minsky,