



21世纪高等学校计算机
专业实用规划教材



清华
科技大讲堂
前沿·科技·分享



人工智能

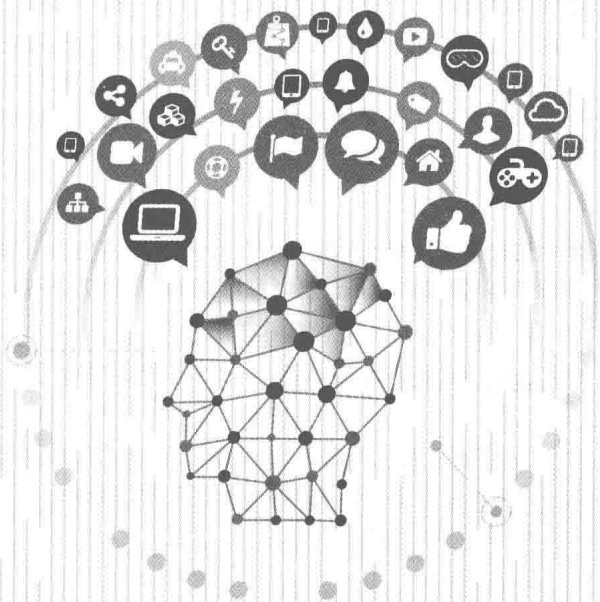
◎ 尚文倩 编著



清华大学出版社



21世纪高等学校计算机
专业实用规划教材



人工智能

◎ 尚文倩 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统介绍了人工智能的基本原理、基本技术、基本方法和应用领域等内容,比较全面地反映了60年来人工智能领域的进展,并根据人工智能的发展动向对一些传统内容做了取舍。全书共9章。第1章介绍人工智能的基本概念、发展历史、应用领域等。其后8章的内容分为两大部分:第一部分(第2~5章)主要讲述传统人工智能的基本概念、原理、方法和技术,涵盖知识表示、搜索策略、确定性推理和不确定推理的相关技术与方法;第二部分(第6~9章)主要讲述现代人工智能的新的技术和方法,涵盖机器学习、数据挖掘、大数据、深度学习的最新技术与方法。每章后面附有习题,以供读者练习。

本书主要作为计算机专业本科生和其他相关学科本科生相关课程教材,也可供研究生和有关科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

人工智能/尚文倩编著. —北京:清华大学出版社,2017

(21世纪高等学校计算机专业实用规划教材)

ISBN 978-7-302-46462-4

I. ①人… II. ①尚… III. ①人工智能 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第024635号

责任编辑:刘星 战晓雷

封面设计:刘键

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.5

字 数:353千字

版 次:2017年7月第1版

印 次:2017年7月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:066951-01

前言

人工智能是研究人类智能活动的规律,构造具有一定智能的人工系统,研究如何让计算机去完成以往需要人的智力才能胜任的工作,也就是研究如何应用计算机的软硬件来模拟人类某些智能行为的基本理论、方法和技术。人工智能是计算机科学的一个分支,被称为20世纪世界三大尖端科技(空间技术、能源技术、人工智能)之一,也被称为21世纪三大尖端技术(基因工程、纳米科学、人工智能)之一。

人工智能作为一门学科从正式提出到现在,已经走过了一甲子的岁月,经历了风风雨雨、起起落落。随着2016年3月AlphaGo战胜世界围棋冠军、职业九段选手李世石,人工智能又一次受到了世人极大的关注。2014年人工智能领域全球投资总额超过19亿美元,同比增长超50%,预计2020年全球市场规模将达到183亿美元。谷歌、微软、苹果等国外科技巨头纷纷发力,国内企业也纷纷和顶尖技术团队合作,积极布局,如百度的大脑计划、科大讯飞的超脑计划、京东的智能聊天机器人等。2015年7月1日,国务院印发了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,将“互联网+人工智能”列为11项重点行动之一;2016年9月国家发改委、科技部、工信部、中央网信办制定的《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》正式印发,计划到2018年基本建立人工智能的产业、服务和标准化体系,实现核心技术突破。

基于此,本书在传统人工智能的基础之上增加了新的人工智能的技术与方法。本书的第6章介绍了机器学习的一些基本问题、基本方法和关键技术。第7章介绍了数据挖掘的常用技术与方法。第8章介绍了大数据的最新研究进展、最新技术与方法。第9章介绍了深度学习的常用方法与最新技术。

本书是集体智慧的结晶,全书由尚文倩主编,陈秀霞、封树超、颜梦菡、李振忠、王宇奇、娄延伟、程宇芬、张春洁等同学为本书做出了重要贡献,在此表示衷心的感谢!本书还参考了《2016—2020年中国人工智能行业深度调研及投资前景预测报告》,借鉴了有关教材及互联网上的一些资料,也向这些文献的作者表达诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中的疏漏在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2017年4月于中国传媒大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能的定义	1
1.2 人工智能的发展历史	2
1.2.1 孕育阶段	2
1.2.2 形成阶段	3
1.2.3 发展阶段	4
1.3 人工智能的三大学派	5
1.3.1 符号主义	5
1.3.2 连接主义	6
1.3.3 行为主义	6
1.4 人工智能研究内容与应用领域	7
1.4.1 问题求解	7
1.4.2 专家系统	7
1.4.3 机器学习	8
1.4.4 神经网络	8
1.4.5 模式识别	9
1.4.6 数据挖掘和知识发现	9
1.4.7 计算机视觉	9
1.4.8 智能控制	10
1.4.9 计算智能	10
1.4.10 其他	10
1.5 人工智能的发展趋势	10
1.5.1 多学科交叉研究	10
1.5.2 智能应用和智能产业	11
1.6 习题	11
第 2 章 知识表示	12
2.1 概述	12
2.1.1 知识及知识的分类	12

2.1.2	知识表示	13
2.2	谓词逻辑表示法	14
2.2.1	基本概念	14
2.2.2	谓词逻辑表示法	15
2.2.3	谓词逻辑表示法的经典应用	16
2.2.4	谓词逻辑表示法的特点	18
2.3	产生式表示法	18
2.3.1	概述	18
2.3.2	产生式系统	19
2.3.3	产生式表示法应用举例	20
2.3.4	产生式系统的推理方式	21
2.3.5	产生式系统的特点	22
2.4	语义网络表示法	23
2.4.1	语义网络基本概念	23
2.4.2	语义网络中常用的语义联系	24
2.4.3	语义网络表示知识的方法	26
2.4.4	语义网络的推理过程	30
2.4.5	语义网络表示的特点	31
2.5	框架表示法	31
2.5.1	框架基本结构	31
2.5.2	基于框架的推理	33
2.5.3	框架表示法的特点	34
2.6	习题	34
第3章	搜索策略	36
3.1	搜索的基本概念	36
3.1.1	搜索的含义	36
3.1.2	状态空间法	37
3.1.3	问题归约法	40
3.2	状态空间搜索	43
3.2.1	盲目搜索	43
3.2.2	状态空间的启发式搜索	48
3.3	博弈树的启发式搜索	54
3.3.1	概述	54
3.3.2	极大极小过程	55
3.3.3	α - β 剪枝	57
3.4	习题	58

第 4 章 确定性推理	60
4.1 推理的基本概念	60
4.1.1 什么是推理	60
4.1.2 推理方法及其分类	61
4.1.3 推理的控制策略及其分类	63
4.1.4 正向推理	63
4.1.5 逆向推理	65
4.1.6 混合推理	67
4.2 推理的逻辑基础	67
4.2.1 谓词公式的解释	67
4.2.2 谓词公式的永真性与可满足性	69
4.2.3 谓词公式的等价性与永真蕴含性	69
4.2.4 谓词公式的范式	71
4.2.5 置换与合一	71
4.3 自然演绎推理	73
4.4 归结演绎推理	74
4.4.1 子句集及其简化	74
4.4.2 鲁滨逊归结原理	78
4.4.3 归结演绎推理的归结策略	85
4.4.4 用归结反演求取问题的解	89
4.5 基于规则的演绎推理	90
4.5.1 规则正向演绎推理	90
4.5.2 规则逆向演绎推理	94
4.6 习题	97
第 5 章 不确定性推理	99
5.1 概述	99
5.1.1 为什么要采用不确定性推理	99
5.1.2 不确定性推理要解决的问题	100
5.1.3 不确定性推理类型	101
5.2 概率基础	102
5.3 主观贝叶斯方法	103
5.3.1 不确定性的表示	103
5.3.2 组合证据不确定性的计算	104
5.3.3 不确定性的传递算法	104
5.3.4 结论不确定性的合成	105
5.4 可信度方法	107
5.4.1 不确定性的表示	107

5.4.2	组合证据不确定性的计算	108
5.4.3	不确定性的传递算法	108
5.4.4	结论不确定性的合成	109
5.5	证据理论	110
5.5.1	理论基础	110
5.5.2	不确定性表示	111
5.5.3	组合证据不确定性的计算	112
5.5.4	不确定性的更新	112
5.6	模糊推理	115
5.6.1	模糊知识的表示	115
5.6.2	模糊概念的匹配	116
5.6.3	模糊推理	117
5.7	习题	120
第6章	机器学习	123
6.1	概述	123
6.1.1	机器学习的基本概念	123
6.1.2	机器学习的发展历史	124
6.1.3	学习系统的基本模型	125
6.1.4	学习策略	125
6.2	记忆学习	126
6.3	归纳学习	126
6.3.1	示例学习	126
6.3.2	观察与发现学习	130
6.4	决策树学习	130
6.5	类比学习	133
6.5.1	类比学习的基本过程	134
6.5.2	属性类比学习	134
6.5.3	转换类比学习	135
6.5.4	派生类比学习	136
6.5.5	联想类比学习	136
6.6	解释学习	137
6.7	神经学习	139
6.7.1	感知器学习	139
6.7.2	反向传播网络学习	141
6.7.3	Hopfield 网络学习	145
6.8	贝叶斯学习	147
6.8.1	贝叶斯定理	147

6.8.2 朴素贝叶斯分类算法	147
6.9 在线机器学习	150
6.9.1 截断梯度法	151
6.9.2 前向后向切分算法	152
6.9.3 正则对偶平均算法	154
6.9.4 FTRL	154
6.10 习题	156
第7章 数据挖掘	158
7.1 数据挖掘概述	158
7.1.1 数据挖掘概念与发展	158
7.1.2 数据挖掘的任务	159
7.1.3 数据挖掘的应用	159
7.1.4 数据挖掘过程与方法	160
7.2 分类	160
7.2.1 决策树分类法	160
7.2.2 基于规则的分类器	161
7.2.3 朴素贝叶斯分类器	161
7.2.4 基于距离的分类算法	162
7.3 聚类	162
7.3.1 概念	162
7.3.2 聚类分析的基本方法	162
7.4 关联规则	168
7.4.1 基本概念	168
7.4.2 关联规则挖掘算法	169
7.4.3 关联规则生成	172
7.5 习题	173
第8章 大数据	175
8.1 大数据概述	175
8.1.1 大数据概念	175
8.1.2 特征	176
8.1.3 发展历程	177
8.1.4 应用	177
8.2 数据获取	179
8.2.1 网络爬虫	179
8.2.2 RSS	184
8.3 数据挖掘	185
8.3.1 概述	185

8.3.2	数据挖掘工具	186
8.3.3	现状与未来	188
8.4	数据分析	188
8.4.1	概述	188
8.4.2	数据分析流程	189
8.4.3	数据分析方法	191
8.4.4	数据分析工具	192
8.5	Hadoop	194
8.5.1	简介	194
8.5.2	分布式离线计算框架 MapReduce	196
8.5.3	Hadoop 分布式文件系统	198
8.5.4	HBase 大数据库	201
8.6	数据可视化	204
8.7	习题	205
第9章	深度学习	206
9.1	深度学习应用背景与概述	207
9.1.1	应用背景	207
9.1.2	概述	207
9.1.3	人脑视觉机理	208
9.2	特征的概念	209
9.2.1	特征表示的粒度	209
9.2.2	初级(浅层)特征表示	210
9.2.3	结构性特征表示	211
9.2.4	特征数量	212
9.3	深度学习基本思想	212
9.4	浅层学习和深度学习	212
9.4.1	浅层学习	212
9.4.2	深度学习	213
9.5	深度学习常用模型和方法	213
9.5.1	自动编码器	214
9.5.2	稀疏编码	215
9.5.3	深度信念网络	215
9.5.4	卷积神经网络	216
9.6	深度学习展望	218
9.7	习题	219
	参考文献	220

自 1956 年人工智能的概念被第一次提及,人工智能发展至今的近 60 年时间里所取得的极大发展,不容忽视,它引起了众多学科和不同专业背景的学者们日益重视,逐步成为一门广泛的交叉和前沿科学。近些年来,随着现代计算机的不断发展及其在软硬件实现方面取得的长足进步,人工智能正在被应用到越来越广泛的领域中。目前来看,虽然人工智能在发展的过程中存在许多困难和挑战,但随着研究的不断深入,这些困难和挑战终将被战胜,并将推动人工智能继续向前发展。本书主要阐述传统人工智能的基本理论、原理、方法和应用,以及现代人工智能的新的技术与方法。

1.1 人工智能的定义

人工智能的定义最早可以追溯到 1956 年夏天,由人工智能早期研究者 John McCarthy 等人提出:人工智能就是为了让机器的行为看起来像是人所表现出的智能行为一样。但迄今尚难以给出人工智能的确切定义。以下为不同学者从不同的角度、不同的层面给出的人工智能的定义。

1978 年, Bellman: 人工智能是那些与人的思维相关的活动,诸如决策、问题求解和学习等的自动化。

1985 年, Haugeland: 人工智能是一种计算机能够思维,使机器具有智力的激动人心的新尝试。

同年, Charniak 和 McDermott: 人工智能是用计算模型研究智力行为。

1990 年, Kurzweil: 人工智能是一种能够执行需要人的智能的创造性机器的技术。

同年, Schalkoff: 人工智能是一门通过计算过程力图理解和模仿智能行为的学科。

1991 年, Rich Knight: 人工智能研究如何让计算机做现阶段只有人才能做得好的事情。

1992 年, Winston: 人工智能研究那些使理解、推理和行为成为可能的计算。

1993 年, Luger 和 Stubblefield: 人工智能是计算机科学中与智能行为的自动化有关的

一个分支。

1998年,Nilsson:广义地讲,人工智能是关于人造物的智能行为,而智能行为包括知觉、推理、学习、交流和复杂环境中的行为。

2003年,Stuart Russell和Peter Norvig:人工智能的定义可以分为4类:像人一样思考的系统、像人一样行动的系统、理性地思考的系统和理性地行动的系统。这里“行动”应广义地理解为采取行动或制定行动的决策,而不是肢体动作。

从不同学者对人工智能的定义中,可以归纳出人工智能需要具备判断、推理、证明、识别、理解、感知、学习和问题求解等诸多能力。随着人工智能的不断发展和对人工智能理解的深入,将来还会出现对人工智能的新的定义和理解。

另外,还有的专家和学者提出强人工智能和弱人工智能的概念。所谓强人工智能是指有可能制造出真正能推理和解决问题的智能机器,并且这样的机器是有知觉的,有自我意识。强人工智能主要分为两类:类人的人工智能,即机器的思考和推理就像人的思维一样;非类人的人工智能,即机器产生了和人完全不一样的知觉和意识,使用和人完全不一样的推理方式。所谓弱人工智能是指不可能制造出能真正地推理和解决问题的智能机器,这些机器只不过看起来像是智能的,但并不真正拥有智能,也不会有自主意识。

1.2 人工智能的发展历史

1956年夏天,由美国学者麦卡锡(McCarthy)等人发起,在美国的达特茅斯(Dartmouth)学院举办了一次长达两个月的研讨会,重点讨论如何用机器模拟人类智能的问题。此次会议云集了人工智能领域相关的研究者:John McCarthy(达特茅斯学院),Marvin Minsky(哈佛大学),Nathaniel Rochester(IBM公司),Claude Shannon(贝尔电话实验室)以及其他数学、神经生理学、精神病学、心理学、信息论、计算机、自然语言处理及神经网络等方面的研究者。会上,人工智能的术语第一次被提及,这是历史上第一次人工智能研讨会,具有十分重要的历史意义,同时也标志着人工智能学科的诞生。

到目前为止,人工智能的发展大致经历了3个阶段:孕育阶段(1956年之前)、形成阶段(1956—1969年)、发展阶段(1970年至今)。

1.2.1 孕育阶段

人工智能的孕育阶段大致可以认为是1956年以前的时期。这段漫长的时期中,数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论、仿生学、电子计算机、心理学等科学技术的发展为后续人工智能的诞生奠定了思想、理论和物质基础。该时期的主要贡献举要如下。

公元前4世纪,希腊哲学家亚里士多德在《工具论》中提出了形式逻辑的一些主要定律,为形式逻辑奠定了基础,特别是他的三段论,至今仍是演绎推理的基本依据。

1642年,法国数学家帕斯卡(Pascal)发明了第一台机械计算器——加法器,开创了计算机械时代。此后,德国数学家莱布尼茨(Leibniz)在其基础上发展并制成了可进行四则运算的计算器。他提出了“通用符号”和“推理计算”的概念,使形式逻辑符号化。这一思想为数理逻辑以及现代机器思维设计奠定了基础。

英国逻辑学家布尔(Boole)在《思维法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理原则,这种新的逻辑代数系统被后世称为布尔代数。

1936年,英国数学家图灵(Turing)提出了一种理想计算机的数学模型,即图灵机模型。这为电子计算机的问世奠定了理论基础。

1943年,心理学家麦克洛奇(McCulloch)和数理逻辑学家皮兹(Pitts)提出了第一个神经网络模型——M-P神经网络模型。模型总结了神经元的一些基本生理特性,提出了神经元形式化的数学描述和网络的结构方法,为开创神经计算时代奠定了坚实的基础。

1945年,冯·诺依曼(Neumann)提出了存储程序的概念。1946年,美国数学家马士利(Mauchly)和埃克特(Eckert)研制成功第一台电子计算机 ENIAC,为人工智能的诞生奠定了物质基础。

1948年,香农(Shannon)发表了《通信的数学理论》,标志着信息论的诞生。

1948年,维纳(Wiener)创立了控制论。这是一门研究和模拟自动控制的人工和生物系统的学科,标志着根据动物心理和行为学科进行计算机模拟研究的基础已经形成。

1950年,图灵发表论文 *Computing Machinery and Intelligence*,提出了著名的图灵测试,该测试大致如下:询问者与两个匿名的交流对象(一个是计算机,另一个是人)进行一系列问答,如果在相当长时间内,他无法根据这些问题判断这两个交流对象哪个是人,哪个是计算机,那么就可以认为该计算机具有与人相当的智力,即这台计算机具有智能。

在20世纪50年代,计算机应用仅局限于数值计算,例如弹道计算。但1950年,香农完成了人类历史上第一个下棋程序,开创了非数值计算的先河。此外,McCarthy、Newell、Simon、Minsky等人提出以符号为基础的计算。这些成就使得人工智能作为一门独立的学科成为一种不可阻挡的历史趋势。

1.2.2 形成阶段

人工智能的形成阶段大约为1956—1969年。除了1956年在美国的达特茅斯学院召开的研讨会提出了“人工智能”的术语外,这一时期的成就还包括定理机器证明、问题求解、LISP语言以及模式识别等。该阶段的主要研究成果如下。

1956年,Samuel研制了具有自学能力的西洋跳棋程序。该程序具备从棋谱中学习、在实践中总结经验提高棋艺的能力。值得称道的是它在1959年战胜了设计者本人,并且在1962年打败了美国的一个州跳棋冠军。这是模拟人类学习的一次成功的探索,同时也是人工智能领域的一个重大突破。

1957年,Newell和Simon等人编制出了一个数学定理证明程序,该程序证明了Russell和Whitehead编写的《数学原理》一书中的第2章的38条定理。1963年修订的程序证明了52个定理。1958年,美籍华人王浩在IBM 740机器上用了3~5min证明了《数学原理》中命题演算的全部定理,总共220个。这些都为定理的机器证明做出了突破性贡献。

1958年,McCarthy研制出的表处理语言LISP,不仅可以处理数据,而且可以方便地处理符号,成为人工智能程序设计语言的重要里程碑。

1960年,Newell、Shaw和Simon等人编制了能解10种不同类型课题的通用问题求解程序(General Problem Solving,GPS)。其中所揭示的人在解题时的思维过程大致为3个阶

段：先想出大致的解题计划；然后根据记忆中的公理、定理和推理规则组织解题过程；最后进行方法和目的分析，修正解题计划。

1965年，斯坦福大学的 Feigenbaum 开展了专家系统 DENDRAL 的研究，该专家系统于 1968 年投入使用。它能根据质谱仪的试验，通过分析推理决定化合物的分子结构，其分析能力接近甚至超过有关化学专家的水平，不仅为人们提供了一个实用的智能系统，而且对知识表示、存储、获取、推理及利用等技术是一次非常有益的探索，对人工智能的发展产生了深远的影响。

以上这些早期的成果表明了人工智能作为一门新兴学科有了蓬勃发展。

1.2.3 发展阶段

从 20 世纪 70 年代开始人工智能的研究进入高速发展时期。在这期间，世界各国都纷纷开展对人工智能领域的研究工作。至 20 世纪 70 年代末，人工智能研究遭遇了一些重大挫折，在问题求解、人工神经网络等方面遇到许多问题，这些问题使人们对人工智能研究产生了质疑。这些质疑声使得人工智能研究者们开始反思。终于，在 1977 年召开的第五届国际人工智能联合会议上提出了知识工程的概念。此后，知识工程的兴起产生了大量的专家系统，这些专家系统在各种领域中获得了成功应用。随着时间的推移，专家系统的问题逐渐暴露出来，知识工程发展遭遇困境，这动摇了传统人工智能物理符号系统对于智能行为是必要充分的基本假设，从而促进了连接主义和行为主义智能观的兴起。随后，大量神经网络和智能主体方面的研究取得极大进展。

以下从知识工程、神经网络以及智能主体 3 个方面讲述人工智能在其发展阶段走过的历程。

1. 知识工程

20 世纪 70 年代开始，人工智能领域的研究在世界各地风生水起。这期间涌现了一批重要的研究成果，包括 1972 年法国马赛大学的 Comerauer 提出并实现了逻辑程序设计语言 PROLOG。斯坦福大学的 Shortliffe 等人开始研制用于诊断和治疗感染性疾病的专家系统 MYCIN 等。但同时，人工智能研究也遭遇了重大挫折，在机器翻译方面就遇到不少问题。例如因为多义词问题导致程序将 Fruit flies like a banana 翻译成“水果像香蕉一样飞行”。在问题求解方面，即使对于具备良好结构的问题，程序也无法解决巨大的搜索空间问题。这些问题使得人们对人工智能研究产生质疑。1973 年，英国剑桥大学应用数学家 Lighthill 认为“人工智能研究即使不是骗局，至少也是庸人自扰”。当时英国政府接受了他的观点，取消了对人工智能研究的资助。由此可见，人工智能研究在这个时期遭遇了低潮。

面对困境，人工智能研究者们积极反思。1977 年，在第五届国际人工智能联合会上，Feigenbaum 做了题为《人工智能的艺术：知识工程课题及实例研究》的报告，首次提出了知识工程的概念。他提出，知识工程是研究知识信息处理的学科，应用人工智能的原理和方法，为那些需要专家知识才能解决的应用难题提供解决方法。采用恰当的方法实现专家知识的获取、表示、推理和解释，是设计基于知识的系统的重要技术问题。知识工程的提出以及发展，使人工智能的研究从基于推理的模型转向基于知识的模型，使人工智能的研究从理论走向了应用。这时期大量的专家系统被应用到各种领域并获得了成功。例如，1980 年，

美国 DEC 公司开发了 XCON 专家系统用于根据用户需求配置 VAX 计算机系统。通常人类专家完成这项工作需要 3 小时,而该系统只用半分钟,大大提高了效率。

随着专家系统大量应用到实际中,其存在的问题也逐渐显现出来:一是交互问题,系统只能模拟人类深思熟虑的行为,却无法处理人与环境的交互行为;二是扩展问题,传统的人工智能方法只适合建造狭窄领域的专家系统,无法将方法推广到规模更大、领域更宽的复杂系统中。

2. 人工神经网络

上面讲到基于知识工程的专家系统发展遇到了困境。这一困境使得人工智能研究者开始把目光由传统的基于物理符号的系统转向区别于符号主义的连接主义和行为主义,由此开始了人工神经网络和智能主体的研究与发展。

人工神经网络的研究起源于 20 世纪 60 年代,由于当时该领域的研究存在的局限性使得人们几乎放弃了对人工神经网络的研究。直到 1982 年,美国加州理工学院物理学家霍普菲尔特(Hopfield)使用统计力学的方法来分析网络的存储和优化特性,提出了离散的神经网络模型,从而推动了神经计算的研究,标志着神经计算研究高潮的到来,1984 年,他又提出了连续的神经网络模型,被称为 Hopfield 网络模型。1985 年,该模型较为成功地求解了旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)。1986 年,Rumelhart 和 McClelland 等人提出了并行分布处理理论,致力于认知的微观结构的探索,提出了反向传播(Back Propagation, BP)算法,成功解决了多层网络学习问题,成为广泛应用的神经元网络学习算法。1987 年,在美国召开了第一届神经网络国际会议,并发起成立国际神经网络学会(INNS)。

3. 智能主体

随着计算机网络、计算机通信等技术的发展,基于行为主义的智能主体的研究成为人工智能研究的一个热点。智能主体成为人工智能的一个核心问题。1995 年,斯坦福大学的 Barbara Hayes Roth 在国际人工智能联合会议的特约报告中谈道:“智能的计算机主体既是人工智能最初的目标,也是人工智能的最终目标。”近年来,智能计算机系统、智能机器人和智能信息处理等方面的研究发展迅速,同时也取得了重大进展。

总之,从上述人工智能的发展历史可以看出,人工智能的发展经历了曲折的过程,但也取得了许多成就。随着计算机网络技术和信息技术的不断发展,人工智能领域的研究也将拥有更大的发展空间。相信在未来,分布式人工智能、智能系统间的通信、交互、协作等方面的研究将给人工智能带来新的飞跃。

1.3 人工智能的三大学派

1.3.1 符号主义

符号主义又称逻辑主义、心理学派或计算机学派,其基本原理基于两点:物理符号系统假设和有限合理性原理。

物理符号系统假设是 Newell 和 Simon 在 1976 年提出,该假设认为:物理符合系统具有必要且足够的方法来实现普通的智能行为。Newell 和 Simon 把人类的一切精神活动、智

能问题归结为计算问题。一个物理符号系统主要有 6 种功能：输入、输出、存储、复制符号、建立符号结构和条件性迁移。其中，建立符号结构即确定符号间的关系，条件性迁移需要依赖已经掌握的符号继续完成后续行为。根据 Newell 和 Simon 提出的这个假设可知，一个物理符号系统若能够完成上述 6 种符号操作就是具备智能的。计算机和人脑都是能操作符号的物理符号系统，因此，计算机和人脑可以进行功能类比。据此，我们可以用计算机的符号操作来模拟人的认知过程，相当于以此来模拟人的智能行为。

有限合理性原理是 Simon 提出的观点。他的观点强调：人类之所以能在大量不确定、不完全信息的复杂环境下解决难题，原因在于人类采用了启发式搜索的试探性方法来求得问题的有限合理解。

符号主义人工智能研究在自动推理、定理证明、机器博弈、自然语言处理、知识工程、专家系统等方面取得了显著成果。符号主义主张从功能上对人脑进行模拟，将问题和知识以逻辑形式表示，采用符号推演的方式来实现推理、学习、搜索等功能。然而，由于符号主义的核心是知识表示、知识推理和知识应用，对于“常识”问题以及不确定事物的表示和处理问题成为符号主义需要解决的巨大难题。

1.3.2 连接主义

连接主义又被称为仿生学派或生理学派，是基于神经元及神经元之间的网络连接机制来模拟和实现人工智能。人类智能的物质基础是神经系统，其基本单位是神经元。这也就是说，连接主义用人工神经网络来研究人工智能。

1943 年，McCulloch 和 Pitts 提出第一个神经元数学模型——MP 模型。该模型从结构上对人脑进行模拟。人工神经网络方法一般先通过神经网络的学习获得知识，再利用知识解决问题。神经网络以分布式方式存储信息，以并行方式处理信息，具有实现自组织、自学习的能力。人工神经网络为人工智能研究提供了一种新思路，在模式识别、机器学习、图像处理等方面很有优势。

局限于研究者对人脑的生理结构和工作机理的认识，目前的人工神经网络仅能近似模拟人脑的局部功能，且不适合模拟人类的逻辑思维过程。因此，单靠连接机制无法解决人工智能的所有问题。

1.3.3 行为主义

行为主义又被称为进化主义或控制论学派，是基于控制论和“感知-动作”控制系统的人工智能学派。其观点是：智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应。人类智能是经历漫长的演化形成的，真正的智能机器也应该沿着进化的步骤走。

行为主义的基本观点可以概括为：

- 知识的形式化表达和模型化方法是人工智能的重要障碍之一。
- 智能取决于感知和行为，在直接利用机器对环境作用后，以环境对作用的响应为原型。
- 智能行为体现在现实世界中，通过与周围环境的交互表现出来。

- 人工智能可以像人类智能一样逐步进化,分阶段发展和增强。

1991年,麻省理工学院的Brooks教授提出了无须知识表示的智能和无须推理的智能。他认为智能只能在与环境交互过程中表现出来,不应该采用集中式的模式,应该需要具有不同的行为模式与环境交互,并以此产生复杂行为。他成功研制出了一种由相互独立的功能单元组成的6足机器虫,该机器虫由避让、前进和平衡等基本功能模块组成分层异步分布式网络。

行为主义实际上是从行为上进行智能模拟,使得机器具有自寻优、自适应、自学习和自组织能力。目前,行为主义在智能控制、机器人领域取得了巨大成就,在未来,控制论、系统工程的思想将进一步影响人工智能的发展。

符号主义、连接主义和行为主义三大思想反映了人工智能的复杂性。这三个学派从不同的角度出发阐释了智能的特性,都取得了显著成就,但同时也存在发展的局限性。目前,对于人工智能的研究仍没有一个统一的理论体系,这种不统一的存在促进了新思潮、新方法的不断涌现,极大地丰富了人工智能的研究。三个学派各有优点也各有局限,可以融合这三个学派,取长补短,为未来的人工智能研究提供新的思路。

1.4 人工智能研究内容与应用领域

1.4.1 问题求解

人工智能的最早应用实践就是问题求解。该领域最有名的例子就是下棋程序。问题求解是指通过搜索的方法寻找目标解的一个合适的操作序列,并同时满足问题的各种约束。在解决良结构问题时,通常有巨大的搜索空间,理论上可以用穷举法找到最优解,但是实践时却由于时空约束而无法得到最优解。因此,问题求解的核心就是搜索技术。

一般搜索系统包括全局数据库、算子集和控制策略3部分。

全局数据库中含有与具体任务相关的信息,这些信息可以用来反映问题的当前状态、约束条件和预期目标。可以根据具体问题采用逻辑公式、数组、矩阵等不同的数据结构。状态分量的选择应该满足必要性、独立性和充分性。各分量不同的取值组合对应不同的状态,只有一些状态是求解问题所需要的。问题本身所具有的约束条件可以排除非法的状态和不可能出现的状态,数据库中只保留问题的初始状态、目标状态和中间状态。

算子集也称操作规则集,用来对数据库进行操作运算。算子一般包括条件和动作两部分。条件给出了适用于算子的先决条件,动作表述了适用算子之后的结果,即引起状态中某些分量的变化。

控制策略可以决定下一步选用哪一个算子以及在何处应用。控制策略通常选择算子集中最有可能导致目标状态或者最优解的算子,运用到当前状态上,不然可能会引起组合爆炸等问题。

搜索技术的最大难点在于寻找合理有效的启发式规则。

1.4.2 专家系统

专家系统是一个具有大量专门知识与经验的程序系统,它采用人工智能技术,根据特定