

INTELLIGENCE
S C I E N C E

智能 科学

史忠植 著

清华大学出版社



INTELLIGENCE SCIENCE

智能 科学

史忠植 著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

智能科学研究智能的本质和实现技术,是由脑科学、认知科学、人工智能等综合形成的交叉学科。脑科学从分子水平、细胞水平、行为水平研究自然智能机理,建立脑模型,揭示人脑的本质;认知科学是研究人类感知、学习、记忆、思维、意识等人脑心智活动过程的科学;人工智能研究用人工的方法和技术,模仿、延伸和扩展人的智能,实现机器智能。智能科学不仅要进行功能仿真,而且要从机理上研究、探索智能的新概念、新理论、新方法。

本书系统地介绍了智能科学的概念和方法,吸收了脑科学、认知科学、人工智能、数理逻辑、社会思维学、系统理论、科学方法论、哲学等方面的研究成果,探索人类智能和机器智能的性质和规律。

本书可作为高等院校高年级本科生和研究生的智能科学、认知科学、认知信息学等课程的教科书,也可作为从事智能科学、脑科学、认知科学、神经科学、人工智能、心理学等领域的人员参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

智能科学/史忠植著. —北京:清华大学出版社,2006.8

ISBN 7-302-13476-6

I. 智… II. 史… III. 人工智能 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083329 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:王敏稚 佟丽霞

印 装 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:32.75 字数:854 千字

版 次:2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13476-6/TP·8453

印 数:1~3000

定 价:50.00 元

前言

DEVELOPMENT

智

能

科

学

智能科学研究智能的本质和实现技术,是由脑科学、认知科学、人工智能等综合形成的交叉学科。脑科学从分子水平、细胞水平、行为水平研究自然智能机理,建立脑模型,揭示人脑的本质;认知科学是研究人类感知、学习、记忆、思维、意识等人脑心智活动过程的科学;人工智能研究用人工的方法和技术,模仿、延伸和扩展人的智能,实现机器智能。智能科学不仅要进行功能仿真,而且要从机理上研究和探索智能的新概念、新理论、新方法。智能的研究不仅要运用推理,自顶向下,而且要通过学习,由底向上,两者并存。智能科学运用综合集成的方法,对开放系统的智能性质和行为进行研究。

智能科学是生命科学的精华,是信息科学技术的核心和现代科学技术的前沿和制高点,涉及自然科学的深层奥秘,触及哲学的基本命题。因此,在智能科学上一旦取得突破,将对国民经济、社会进步、国家安全产生深刻而巨大的影响。目前,智能科学正处在方法论的转变期、理论创新的高潮期和大规模应用的开创期,充满原创性机遇。

智能科学的兴起和发展标志着对以人类为中心的认知和智能活动的研究已进入到新的阶段。智能科学的研究将使人类自我了解和自我控制,把人的知识和智能提高到空前未有的高度。生命现象错综复杂,许多问题还没有得到很好的说明,而能从中学习的内容也是大量的、多方面的。如何从中提炼出最重要的、关键性的问题和相应的技术,这是许多科学家长期以来追求的目标。要解决人类在 21 世纪所面临的许多困难,诸如能源的大量需求、环境污染、资源耗竭、人口膨胀等,单靠现有的科学成就是很不够的。必须向生物学习,寻找新的科技发展的道路。

智能科学的研究将为智力革命、知识革命和信息革命建立理论基础,为智能系统的研制提供新概念、新思想、新途径。

21 世纪以来,国际上对智能科学及其相关学科,诸如脑科学、神经科学、认知科学、人工智能的研究高度重视。我国国家自然科学基金委员会对该领域的发展特别关注。2004 年 9 月,国家自然科学基金委员会信息科学部主办了“智能科学技术基础理论重大问题研讨会”,来自智能科学、脑科学、认知科学、逻辑、哲学等学科交叉领域的代表参加了讨论。国家自然科学基金委员会对我们的研究予以大力支持,2004 年把我们基于感知学习和语言认知的智能计算模型的研究列为重点项目。

本书系统地介绍了智能科学的概念和方法,吸收了脑科学、认知科学、人工智能、数理逻辑、社会思维学、系统理论、科学方法论、哲学等方面的研究成果,综

合地探索人类智能和机器智能的性质和规律。全书共分18章。第1章是绪论,介绍人工智能研究的困惑和智能科学的兴起;第2章介绍智能科学的生理基础;第3章讨论神经计算的进展;第4章探讨重要的心智模型;第5章论述知觉理论;第6章讨论视觉信息处理,重点研究现代最新的视觉理论;第7章是听觉信息处理;第8章讨论语言的理论;第9章重点论述重要的学习理论;第10章探讨记忆机制;第11章重点讨论思维形式和类型;第12章研究智力的发展;第13章讨论情绪和情感的有关理论;第14章讨论免疫系统;第15章初步探讨意识问题;第16、17章讨论符号逻辑和机器证明;第18章展望智能科学的发展。

本书撰写过程中,得到吴文俊、李衍达、陆汝钤、张�钹、王守觉、陈霖、郭爱克、汪云九、钟义信、涂序彦、石纯一、迟惠生、何华灿、王珏、童天湘、刘晓力、韩小文等的支持和帮助,与他们的讨论给了我本人许多启发,在此表示感谢。同时,感谢本书所引用资料的著译者,他们的丰硕成果和贡献是本书学术思想的重要源泉;感谢中国科学院计算技术研究所智能科学实验室同事的讨论和支持。感谢澳大利亚南澳大学在我访问期间提供的良好条件,使本书得以顺利完成;感谢清华大学出版社对本书出版的大力支持;更感谢国家自然科学基金委员会对智能科学研究的一贯支持。

本书可作为大学高年级和研究生的智能科学、认知科学、认知信息学、人工智能等课程的教科书;对从事智能科学、脑科学、认知科学、神经科学、人工智能、心理学、哲学等领域的研究人员也具有重要参考作用。

智能科学是处于研究发展中的前沿学科,许多概念和理论尚待探讨,加之作者水平有限,撰写时间仓促,因此书中谬误在所难免,恳请读者指正。

史忠植

2006年7月于北京

目 录

智
能
科
学

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 人工智能的困惑	1
1.2 知识科学	3
1.3 脑科学	4
1.4 心理学的研究	6
1.5 认知科学	8
1.6 智能科学的研究	9
第2章 神经生理基础	12
2.1 脑系统	12
2.2 神经组织	14
2.2.1 神经元的基本组成	14
2.2.2 神经元的分类	16
2.2.3 神经胶质细胞	17
2.3 突触传递	19
2.3.1 化学性突触	19
2.3.2 电突触	21
2.3.3 突触传递的机制	22
2.4 神经递质	22
2.4.1 乙酰胆碱	23
2.4.2 儿茶酚胺类	25
2.4.3 5-羟色胺	28
2.4.4 氨基酸和寡肽	29
2.4.5 一氧化氮	29
2.4.6 受体	30
2.5 信号跨膜转导	31
2.5.1 转导蛋白	31
2.5.2 第二信使	32
2.6 静息膜电位	34
2.7 动作电位	37
2.8 离子通道	41
2.9 神经系统	43
2.9.1 中枢神经系统	43
2.9.2 周围神经系统	44
2.10 大脑皮层	45

第3章 神经计算	49
3.1 概述	49
3.2 神经元模型	58
3.3 反传学习算法	59
3.3.1 反传算法的原理	59
3.3.2 反传算法的数学表达	60
3.3.3 反传算法的执行步骤	62
3.3.4 反传网络的优缺点	63
3.4 Hopfield 模型	64
3.4.1 离散 Hopfield 网络	64
3.4.2 连续 Hopfield 网络	68
3.5 自适应共振理论 ART 模型	69
3.5.1 ART 模型的结构	69
3.5.2 ART 的基本工作原理	71
3.5.3 ART 模型的数学描述	76
3.6 神经网络集成	78
3.6.1 结论生成方法	78
3.6.2 个体生成方法	79
3.7 过程神经网络	80
3.7.1 过程神经网络模型	80
3.7.2 学习算法	81
3.8 神经场模型	82
3.8.1 神经场表示	82
3.8.2 神经场学习理论	84
3.9 功能柱神经网络模型	88
3.9.1 模型与方法	89
3.9.2 单功能柱模型的 模拟结果	92
第4章 心智模型	96
4.1 概述	96
4.1.1 通信系统	97

4.1.2 信息量和熵	97	6.2.3 功能柱	141
4.1.3 信道容量	98	6.2.4 球状功能结构	142
4.2 心智建模	98	6.3 颜色视觉	142
4.3 物理符号系统	101	6.4 马尔的视觉计算理论	143
4.4 诺尔曼模型	104	6.5 格式塔视觉理论	148
4.5 记忆信息处理模型	105	6.6 拓扑性质检测的视觉模型	149
4.6 SOAR 模型	107	6.6.1 实验一——视觉系统对拓扑 差异的敏感性	150
4.7 心智的社会	109	6.6.2 实验二——封闭性和图形 结构的优势效应	150
4.8 动力系统理论	109	6.6.3 实验三——拓扑不变性质和 似运动	151
4.9 大脑协同学	111	6.6.4 实验四——几种同时起作用的 因素的竞争的组织	152
4.10 自动机	113	6.7 视觉的正则化理论	153
4.10.1 逻辑自动机	114	6.8 基于模型的视觉理论	156
4.10.2 有限记忆自动机	114	6.9 计算机视觉	157
4.10.3 图灵机	114	6.9.1 图像分割	159
第5章 感知	116	6.9.2 图像理解	161
5.1 认识的辩证过程	116	6.9.3 主动视觉	161
5.2 感觉	117	6.9.4 立体视觉	162
5.3 知觉	119	6.9.5 利用启发式知识的方法	165
5.4 知觉的组合	120	6.10 同步化响应	165
5.5 知觉理论	121	6.10.1 概述	165
5.5.1 构造理论	122	6.10.2 神经生物学实验	166
5.5.2 格式塔理论	123	6.10.3 时间编码	168
5.5.3 动作理论	124	6.10.4 视皮层的神经元振荡模型	168
5.5.4 吉布森生态学理论	125	6.10.5 视觉系统中的表象与 尺度变换	170
5.6 表象	126	6.10.6 神经网络中的非线性 动力学问题	172
5.7 感知中的注意机制	131	6.11 展望	173
5.7.1 过滤器模型	131	第7章 听觉信息处理	174
5.7.2 衰减模型	132	7.1 听觉的生理基础	174
5.7.3 反应选择模型	132	7.1.1 耳的结构	174
5.7.4 能量分配模型	133	7.1.2 听觉的通路	176
第6章 视觉信息处理	134	7.2 感声机制	177
6.1 视觉的生理机制	134	7.3 听觉信息的中枢处理	178
6.1.1 眼的结构	134	7.3.1 频率分析机理	179
6.1.2 视网膜	135	7.3.2 强度分析机理	180
6.1.3 光感受器	136	7.3.3 声源定位和双耳听觉	180
6.1.4 外膝体	137		
6.1.5 视皮层	138		
6.2 视皮层信息处理	139		
6.2.1 视皮层感受野	139		
6.2.2 特征选择性	140		

7.3.4 对复杂声的分析	181	8.9.1 概述	224
7.4 语音编码	181	8.9.2 发展阶段	225
7.5 韵律认知	182	8.9.3 基于规则的分析方法	228
7.5.1 韵律特征	182	8.9.4 基于语料的统计模型	231
7.5.2 韵律建模	185	8.9.5 机器学习方法	233
7.5.3 韵律标注	186	第9章 学习	236
7.5.4 韵律生成	187	9.1 学习的基本原理	236
7.5.5 韵律生成的认知神经 科学机制	188	9.2 行为学派的学习理论	237
7.6 语音识别	188	9.2.1 条件反射学习理论	238
7.6.1 语音识别概况	188	9.2.2 行为主义的学习理论	238
7.6.2 中文语音识别系统	190	9.2.3 联结学习理论	239
7.7 语音合成	192	9.2.4 操作学习理论	240
7.7.1 语音合成概况	192	9.2.5 相近学习理论	242
7.7.2 语音合成的方法	193	9.2.6 需要消减理论	244
7.7.3 概念到语音转换系统	196	9.3 认知学派的学习理论	247
7.8 听觉场景分析	200	9.3.1 格式塔学派的学习理论	248
7.8.1 初级分析	200	9.3.2 认知目的理论	248
7.8.2 以图式为基础的知觉组织	202	9.3.3 认知发现理论	250
7.8.3 初级分析与图式加工 之间的关系	203	9.3.4 认知同化理论	251
7.8.4 场景分析的总体评价	203	9.3.5 信息加工学习理论	253
第8章 语言	205	9.3.6 建构主义的学习理论	255
8.1 语言的性质	205	9.4 人本主义学习理论	257
8.2 语言和思维	206	9.5 观察学习理论	258
8.3 语言习得和发展	207	9.6 内省学习	260
8.4 大脑语言处理	209	9.6.1 内省学习一般模型	262
8.5 语言认知	212	9.6.2 内省学习的元推理	263
8.5.1 句子加工中的概率和 约束问题	212	9.6.3 失败分类	263
8.5.2 课文表征与记忆	213	9.6.4 内省过程中的基于范例推理	264
8.5.3 模块理论与语言加工	214	9.7 学习的计算理论	265
8.5.4 语言理解中的压抑机制	214	9.7.1 Gold 学习理论	265
8.6 乔姆斯基的形式文法	215	9.7.2 模型推理系统	266
8.6.1 短语结构文法	215	9.7.3 PAC 学习理论	267
8.6.2 上下文有关文法	216	9.8 感知学习	268
8.6.3 上下文无关文法	217	9.9 粒度计算	269
8.6.4 正则文法	218	9.9.1 词计算理论	269
8.7 扩充转移网络	219	9.9.2 粗糙集理论	269
8.8 概念依赖理论	222	9.9.3 基于商空间的粒度计算	270
8.9 语言信息处理	224	9.9.4 信息粒度格模型	270
		第10章 记忆	274
		10.1 艾宾浩斯的记忆研究	274

10.2 记忆过程	277	11.8.3 先验论	338
10.3 记忆系统	278	11.8.4 证伪主义	339
10.3.1 感觉记忆	279	11.8.5 结构主义	340
10.3.2 短时记忆	280	11.9 发现策略	340
10.3.3 长时记忆	283	11.9.1 数据驱动	340
10.4 长时记忆	284	11.9.2 理论驱动	342
10.4.1 长时记忆的类型	284	11.9.3 发现系统 BACON	343
10.4.2 长时记忆的模型	287	11.10 逻辑思维模型	349
10.4.3 长时记忆的信息提取	291	第 12 章 智力发展	352
10.5 动态记忆理论	293	12.1 智力概述	352
10.6 工作记忆	294	12.2 智力的因素论	353
10.6.1 工作记忆模型	294	12.2.1 智力的二因论	353
10.6.2 工作记忆和推理	295	12.2.2 流体智力和晶体智力说	353
10.6.3 工作记忆的神经机制	296	12.2.3 智力多因素论	353
10.7 内隐记忆	297	12.3 多元智力理论	354
10.8 记忆的生理机制	298	12.4 智力结构论	354
10.8.1 与记忆相关联的脑区	299	12.5 皮亚杰的发生认识论	354
10.8.2 记忆的存储过程	301	12.5.1 图式	355
10.8.3 记忆的保存和增强	302	12.5.2 儿童智力发展阶段	358
第 11 章 思维	306	12.6 智力的测量	364
11.1 思维的研究	306	12.7 智力发展的影响因素	366
11.2 思维的层次模型	309	12.7.1 成熟因素	367
11.3 抽象思维	310	12.7.2 经验因素	367
11.3.1 演绎推理	311	12.7.3 社会环境因素	368
11.3.2 归纳推理	313	12.7.4 平衡化因素	369
11.3.3 反绎推理	314	12.8 智力发展的人工系统	370
11.3.4 类比推理	315	第 13 章 情绪和情感	372
11.3.5 非单调逻辑	317	13.1 情绪和情感的定义	372
11.3.6 数理辩证逻辑	318	13.2 情绪与情感的区别	373
11.4 形象思维	318	13.3 情绪情感的种类	374
11.5 灵感思维	320	13.3.1 情绪的基本形式	374
11.6 创造思维	323	13.3.2 情绪状态	374
11.7 问题求解	326	13.3.3 情感的种类	375
11.7.1 问题空间	326	13.4 情绪的表达	375
11.7.2 产生式系统	328	13.4.1 表情	376
11.7.3 启发式搜索	330	13.4.2 表情的种类	376
11.7.4 手段目的分析法	331	13.5 情绪理论	377
11.7.5 解决问题的策略	333	13.5.1 詹姆斯-兰格情绪学说	377
11.8 科学发现的理论	336	13.5.2 情绪评估——兴奋学说	377
11.8.1 经验论	336	13.5.3 情绪三因素说	377
11.8.2 唯理论	337		

13.5.4 基本情绪论	377	14.7.6 故障诊断	406
13.5.5 维度论	378	第 15 章 意识	408
13.5.6 非线性动态策略	379	15.1 意识的概念	408
13.6 情绪对人类生活的重要意义	380	15.2 意识研究的历史	409
13.6.1 情绪的动机作用	380	15.3 意识的理论	410
13.6.2 情绪是心理活动的 组织者	381	15.3.1 法伯的意识观	410
13.6.3 情绪的健康功能	381	15.3.2 心理学的意识观	410
13.6.4 情绪的信号功能	381	15.3.3 还原论	411
13.7 情感计算	382	15.3.4 剧场假设	412
13.8 情感智能	386	15.3.5 意识的主动模式和感知 模式	412
第 14 章 免疫系统	388	15.3.6 微管假说	412
14.1 概述	388	15.3.7 量子意识观	413
14.2 免疫机制	389	15.3.8 神经达尔文主义	413
14.2.1 非特异性免疫	389	15.3.9 建构理论	413
14.2.2 特异性免疫	390	15.3.10 意识模型	414
14.2.3 T 细胞和细胞免疫	391	15.4 意识的神经相关物	414
14.2.4 B 细胞和体液免疫	392	15.5 显意识思维与潜意识思维	415
14.2.5 抗原和抗体	393	15.6 注意	419
14.3 免疫系统理论	394	15.6.1 注意网络	419
14.3.1 克隆选择	395	15.6.2 注意的功能	420
14.3.2 免疫网络模型	395	15.6.3 注意的抑制-增强效应	422
14.4 人工免疫系统	397	15.6.4 注意的理论和模型	422
14.5 人工免疫系统的仿生机理	398	第 16 章 符号逻辑	424
14.5.1 免疫识别	398	16.1 概述	424
14.5.2 免疫学习	399	16.2 谓词演算	427
14.5.3 免疫记忆	399	16.3 模态逻辑	432
14.5.4 个体多样性	399	16.4 模糊逻辑	433
14.5.5 分布式和自适应特性	400	16.5 时态逻辑	434
14.6 免疫算法	400	16.6 非单调逻辑	436
14.6.1 一般免疫算法	400	16.7 动态描述逻辑	437
14.6.2 阴性选择算法	403	16.7.1 描述逻辑	437
14.6.3 克隆选择算法	403	16.7.2 动态描述逻辑 DDL	439
14.6.4 免疫学习算法	403	16.8 归纳逻辑	440
14.6.5 与人工神经网络比较	404	16.8.1 经验主义概率归纳逻辑	443
14.7 人工免疫系统的应用	404	16.8.2 逻辑贝叶斯派	444
14.7.1 信息安全	404	16.8.3 主观贝叶斯派	444
14.7.2 数据挖掘	405	16.8.4 条件化归纳逻辑	445
14.7.3 模式识别	405	16.8.5 非帕斯卡概率归纳逻辑	446
14.7.4 机器人学	405	16.9 直觉主义逻辑	447
14.7.5 控制工程	406		

16.10 辩证逻辑	448	18.2 脑机接口	466
16.11 模型论	450	18.3 人工脑	467
16.12 递归论	452	18.3.1 细胞自动机——仿脑机	467
第 17 章 机器证明	455	18.3.2 认知机模型	469
17.1 概述	455	18.3.3 意识机	472
17.2 证明论	457	18.4 智能机器人	473
17.2.1 希尔伯特规划	458	18.4.1 概述	473
17.2.2 受限的初等数论的 无矛盾性	458	18.4.2 机器人的发展历史	474
17.2.3 哥德尔的不完全性定理	459	18.4.3 机器人研究热点	475
17.3 机器定理证明	460	18.4.4 未来机器人	475
17.4 数学机械化	462	18.5 智能计算机	478
17.5 面向 Web 的数学系统	463	18.6 智能互联网	483
第 18 章 展望	466	18.7 脑的复杂性	484
18.1 概述	466	参考文献	486

绪 论

1.1 人工智能的困惑

人工智能(artificial intelligence, AI),有时也称作机器智能。1956 年麦卡锡(John McCarthy)在他的 Proposal for the Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence 一文中首先引入了这个术语,他将人工智能定义为:“使一部机器的反应方式就像是一个人在行动时所依据的智能”。1956 年夏天,美国达特莫斯(Dartmouth)大学召开了一次影响深远的历史性会议,主要发起人是该校青年助教麦卡锡(John McCarthy)、哈佛大学明斯基(M. Minsky)、贝尔实验室香农(C. Shannon)和 IBM 公司信息研究中心罗彻斯特(N. Lochester)。他们邀请了卡内基-梅隆大学纽威尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)、麻省理工学院塞夫里奇(O. Selfridge)和索罗门夫(R. Solomamff),以及 IBM 公司塞缪尔(A. Samuel)和莫尔(T. More)。他们的研究专业包括数学、心理学、神经生理学、信息论和计算机科学,多学科交叉地研究,从不同的角度共同探讨人工智能的可能性。

人工智能的研究想要让计算机也具有人类那种听、说、读、写、思考、学习、适应环境变化、解决各种实际问题等能力。1956 年纽威尔(A. Newell)、西蒙(H. A. Simon)等人合作编制的“逻辑理论机”数学定理证明程序(简称 LT),使机器迈出了逻辑推理的第一步。经过反复实验,纽威尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)进一步认识到,人类证明数学定理也有类似的思维规律,通过“分解”(把一个复杂问题分解为几个简单的子问题)和“代入”(利用已知常量代入未知的变量)等方法,用已知的定理、公理或解题规则进行试探性推理,直到所有的子问题最终都变成已知的定理或公理,从而解决整个问题。他们证明了数学家罗素(B. Russel)的数学名著《数学原理》第 2 章中的 38 条定理。1963 年,经过改进的 LT 程序在一部功能更强的计算机上,最终完成了第 2 章全部 52 条数学定理的证明。基于这一成功,纽威尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)把 LT 程序扩充到人类求解一般问题的过程,设想用机器模拟具有普遍意义的人类思维活动。他们编制了能解答十种不同类型问题的“通用问题求解程序(GPS)”,从而开拓出人工智能中“问题求解”的一大领域。

在纽威尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)之后,美籍华人学者、洛克菲勒大学王浩在“自动定理证明”上获得了更大的成就。1959年,王浩用他首创的“王氏算法”,在一台速度不高的IBM704计算机上再次向《数学原理》发起挑战。不到9分钟,王浩的机器把这本数学史上视为里程碑的著作中全部(350条以上)的定理,都证明了一遍。该书作者、数学大师罗素(B. Russel)得知此事后感慨万端,他在信里写到:“我真希望,在怀海特和我浪费了10年的时间用手算来证明这些定理之前,就知道有这种可能。”王浩因此被国际上公认为机器定理证明的开拓者之一。

1977年,曾是西蒙(H. A. Simon)的研究生、斯坦福大学青年学者费根鲍姆(E. Feigenbaum),在第五届国际人工智能大会上提出了知识工程的概念,标志着人工智能的研究从传统的以推理为中心,进入到以知识为中心的新阶段。

模式识别是近30年来得到迅速发展的人工智能分支学科。人之所以能识别图像、声音、动作、文字字形、面部表情等,因为它们都存在着反映其特征的某种模式。人工智能模式识别的进展,已经在一定程度上使计算机具备了“听”、“说”、“读”的能力,但距离理想的目标还很远。对于人类来说,哪怕把字写得龙飞凤舞,哪怕把话说得含糊不清,也能根据对上下文的理解做出正确的识别,它表明人脑模式识别的方法,不是或者不完全是什么“模式匹配”。对模糊信息的识别处理,人脑比计算机要擅长得多。此外,计算机存储的模板库或样本库,与它的判断识别机构两相分离,当模板库容量十分庞大时,搜索匹配就显得力不从心;而人脑记忆的知识与其判断机构浑然一体,它的模式识别是寻找、运用知识的思维决策。

知识是国家的财富,信息产业对国家的发展至关重要。1981年10月日本东京召开了第五代计算机——智能计算机研讨会,东京大学元冈达提出了“第五代计算机的构想”。随后日本制定了研制第五代计算机的10年计划,这是一个雄心勃勃的诱人计划。1982年夏天,日本成立了以渊一博为所长的“新一代计算机技术研究所”(ICOT)。日本通产省全力支持了该项计划,总投资预算达到4.3亿美元,组织富士通、NEC、日立、东芝、松下、夏普等8大著名企业配合研究所共同开发。

渊一博为所长的“新一代计算机技术研究所”苦苦奋战了将近10年,他们几乎没有回过家,长年整天穿梭于实验室与公寓之间,近乎玩命式地拼搏。然而,“五代机”的命运是悲壮的。1992年,因最终没能突破关键性的技术难题,无法实现自然语言人机对话、程序自动生成等目标,导致了该计划最后阶段研究的流产,渊一博也不得不重返大学讲坛。也有人认为,“五代机”计划不能算作失败,它在前两个阶段基本上达到了预期目标。1992年6月,就在“五代机”计划实施整整10周年之际,ICOT展示了它研制的五代机原型试制机,由64台处理器实现了并行处理,已初步具备类似人的左脑的先进功能,可以对蛋白质进行高精度分析,在基因研究中发挥了作用。

五代机失败的现实迫使人们寻找研究智能科学的新途径。智能不仅要功能仿真,而且要机理仿真;智能不仅要运用推理,自顶向下,而且要通过学习,由底向上,两者结合;脑的感知部分,包括视觉、听觉等各种感觉、运动、语言脑皮层区不仅具有输入输出通道的功能,而且对思维活动有直接贡献。

1991年,有代表性的杂志Artificial Intelligence第47卷发表了人工智能基础专辑,指出了人工智能研究的趋势。柯希(D. Kirsh)在专辑中提出了人工智能的五个基本问题^[1]:

(1) 知识与概念化是否是人工智能的核心?

- (2) 认知能力能否与载体分开来研究?
- (3) 认知的轨迹是否可用类自然语言来描述?
- (4) 学习能力能否与认知分开来研究?
- (5) 所有的认知是否有一种统一的结构?

不同学派对这些关键问题有不同的观点,这成为人工智能不同学派的分水岭。要回答这些问题,必须开展智能科学的基础理论研究。

纽威尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)在 1958 年大胆地预言:

- 十年内,计算机将成为世界象棋冠军;
- 十年内,计算机将发现或证明有意义的数学定理;
- 十年内,计算机将能谱写优美的乐曲;
- 十年内,计算机将能实现大多数的心理学理论。

人工智能先驱者们这些充满乐观的预言,激励人们不断深入研究,取得了许多令人鼓舞的进展。但在前进的道路上,传统人工智能的研究面临着相当多的困惑。

1.2 知识科学

世界进入了知识经济的时代,这要求我们对知识本身进行深入研究,更好地运用知识去推动社会的繁荣和进步。知识科学是研究以知识为对象的基本问题,包括知识的数学理论、逻辑基础、知识模型、知识挖掘、知识共享等。

自古以来,人类一直进行对于知识的研究与探索。20 世纪中叶以后,这种研究格局发生了变化。1948 年,美国工程师香农(C. Shannon)在贝尔电器研究所出版的专门杂志上,发表了两篇有关“通信的数学理论”的文章^[442],系统地讨论了通信的基本问题,由此奠定了信息论的基础。1956 年,人工智能自正式提出以来取得了很大的进展和成功,特别在运用知识解决问题方面做出了重大贡献,推动了知识科学的发展。知识在人类文明中所起的作用越来越大,人类已经进入了信息化社会,而且正在向知识化社会前进,人们认真地研究知识的一般特性与规律。1977 年,费根鲍姆(E. Feigenbaum)提出了知识工程的概念,使知识信息处理进入工程化的阶段。

知识挖掘的进展与机器学习的研究密切相关。1984 年,瓦利安特(L. G. Valiant)提出了可学习理论(PAC)^[500],并将可学习性与计算复杂性联系在一起。1982 年波兰数学家帕拉克(Z. Pawlak)提出了粗糙集理论^[361]。1995 年,瓦普尼克(V. N. Vapnik)提出了结构风险最小化理论和支持向量机^[505]。最近,斯梅尔(S. Smale)采用函数逼近论工具研究了样本覆盖数与学习精度的问题^[472]。

20 世纪 90 年代以来,知识共享引起人们的普遍关注,提出了一些知识共享技术。其中斯坦福大学研究的知识交换格式 KIF 和本体建模语言 Ontolingua 较为有名。根据多主体系统的需要,马里兰大学提出了知识查询和处理语言(KQML),FIPA 组织进一步提出了 ACL 语言,为主体通信提供一种标准。Internet 的广泛使用,为知识共享提供了极好的环境,也为知识科学提出了极大的挑战。Internet 提供分布、开放、动态、海量的信息,要按用户需要提供优质服务,提高信息的利用效率,必须要研究与之相适应的知识模型、有效的知识组织和管理方式,以及 Web 知识挖掘方法。将语义网和网格计算的技术结合起来,构建

语义网络,可能是实现基于 Internet 知识共享的有效途径,以便使知识能像电一样,方便提供给用户。

知识的数学本质和复杂性问题是一个基本的数学问题。香农(C. Shannon)对信息的数学本质进行过研究,提出了著名的香农信息论,他用熵的概念来研究信息的含量。从数学的观点来看,知识是什么? 科尔莫戈罗夫(A. N. Kolmogorov)提出了描述信息复杂性的概念^[322]。那么,对知识复杂性应如何描述?

逻辑是知识形式化描述的重要工具。由于经典逻辑在表达能力和推理方法上的局限,使得人们从不同的应用角度出发提出了各种非经典逻辑。这一领域的研究相当活跃,而且有进一步发展的势头。20 世纪末,得到较多应用的有模态逻辑、时态逻辑、直觉主义逻辑、非单调逻辑、模糊逻辑等。目前引起人们关注的有描述逻辑、纤维逻辑等。

知识模型是指知识的形式化描述和操作方式。经典的知识模型包括产生式系统、框架、语义网络、面向对象的知识模型等。在分布智能中研究面向主体的模型和面向本体的模型。在分布、开放、动态、海量的知识环境中要提高知识的共享程度和使用效率,必须研究新型的知识模型。

知识挖掘是从数据集中识别出有效的、新颖的、潜在有用的,以及最终可理解的模式的非平凡过程。知识挖掘将无序的信息变为有序的知识,提高信息的共享程度和使用效率。知识挖掘研究机器学习理论,包括学习的计算复杂性和样本复杂性,研究知识挖掘有效的方法和算法及各种算法的评价体系。

为了提高知识的共享程度和利用效率,要研究语义网络的知识模型、资源管理模式和操纵语言,研究开放服务系统结构和协议,研究海量半结构信息的信息挖掘方法。

1.3 脑科学

脑科学是以脑为研究对象的各门科学的总称,是一个大科学系统。脑科学研究大脑结构和功能、大脑与行为、大脑与思维的关系,研究大脑的演化、大脑的生物组成、神经网络及其规律。人类对脑的认识经历了由浅入深的漫长的时期。按照对脑的研究水平大致可以分为三个时期。

第一个发展阶段是萌芽时期。这个时期人类逐渐认识到脑是思维的器官,并对脑的结构有了粗浅的了解。中国早在公元前 7 世纪至 5 世纪已经认识到脑与思维的关系。

古希腊对脑的认识较深入。毕达哥拉斯(Pythagoras)和柏拉图(Plato)都认为,理性、智慧产生于大脑;德谟克利特(Democritus)认为,大脑中产生精致的原子,精致的原子产生灵魂活动。希波克拉底(Hippocrates)通过解剖,肯定了脑是思维器官。亚历山大学派的爱拉西斯特拉士(Erasistratus)通过解剖,研究了脑的结构;赫诺非拉斯(Herophilus)分辨了小脑与大脑皮质。古希腊医生盖仑(Galen)则进一步发现了脑的内部结构,如胼胝体、松果体,提出了大脑司感觉、小脑司运动的脑分工说。

第二个发展阶段是机械时期。主要进展是建立了反射学说和定位学说。中世纪解剖脑研究很少进展。近代科学兴起后,脑研究才有了发展。18 世纪瑞士生理学家哈勒发现了脑是通过神经来传输刺激的。法国的笛卡儿(René Descartes)提出了大脑的反射学说和二元论的精神、大脑相互作用论;俄国学者谢切诺夫(N. M. Сеченов)完善了大脑的反射学说。

19 世纪后半叶,奥地利医生加尔(F. J. Gall)建立了最初的定位学说,后来发展为颅相学。法国医生布洛卡(Paul Broca)通过对失语病人的大脑解剖,发现了布洛卡区,使定位学说建立在科学的基础上。这一时期的脑研究带有机械论的特点。

第三个发展阶段是现代时期。现代对脑的研究是多水平、多层次、多途径进行的,既有整体研究,又有局部研究;既有系统研究,又有神经元水平、细胞水平和分子水平的研究;既有物理的、化学的、生理的、心理的分门别类研究,又有综合研究。目前,研究大脑的方法很多,主要有:

(1) 黑箱方法。由于大脑高度复杂,研究者无法从外部考察大脑的思维机理,只能从信息输入大脑后,大脑处理的结果来推测大脑是如何工作的。

(2) 电学方法。通过研究脑电波变化规律,探索大脑活动机制。1848 年,德国学者雷蒙(DuBois Reymond)第一次记录到神经组织的电流活动。1929 年,德国的贝格尔(H. Berger)在他自己儿子的头皮上第一次记录了人的脑电图。他记录到了大约为 10 次/秒的有节律的慢波,就是 α 节律。现在,脑电方法用于多种用途和研究。

(3) 脑损伤法。通过对大脑受伤情况和智力、行为的影响程度的研究来揭示大脑的机能。大脑定位学说和整体学说的提出都使用了这个方法。

(4) 神经元方法。这种方法通过对神经元的了解了解大脑,从典型入手来了解整体。

(5) 化学方法。大脑中不仅有电活动,也有化学运动,依靠化学物质传输信息、记忆、思维、控制情绪。化学方法就是通过研究大脑中生物物质的产生和作用来研究大脑活动的方法。

神经系统和脑的功能从本质上是接收内外环境中的信息,加以处理、分析和存储,然后控制调节机体各部分,作出适当的反应。因此,神经系统和脑是两种活的信息处理系统。

计算神经科学是使用数学分析和计算机模拟的方法在不同水平上对神经网络进行模拟和研究:从神经元的真实生物物理模型,它们的动态交互关系以及神经网络的学习,到脑的组织和神经类型计算的量化理论等,从计算角度理解脑,研究非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理的本质和能力,探索新型的信息处理机理和途径,从而创造脑。它的发展将对智能科学、信息科学、认知科学、神经科学等产生重要影响。

计算神经科学的研究源远流长。1875 年,意大利解剖学家戈尔吉(C. Golgi)用染色法最先识别出单个的神经细胞。1889 年,卡贾尔(R. Cajal)创立神经元学说,认为整个神经系统是由结构上相对独立的神经细胞构成。在卡贾尔(R. Cajal)神经元学说的基础上,1906 年,谢灵顿(C. S. Sherrington)提出了神经元间突触的概念^[446]。20 世纪 20 年代,阿德廉(E. D. Adrian)提出神经动作电位。1943 年,麦克鲁奇(W. S. McCulloch)和皮兹(W. Pitts)提出了的 M-P 神经网络模型^[307]。1949 年,赫布(D. O. Hebb)提出了神经网络学习的规则^[197]。20 世纪 50 年代,罗森勃拉特(F. Rosenblatt)提出了感知机模型^[412]。20 世纪 80 年代以来,神经计算研究取得了进展。霍普菲尔特(J. J. Hopfield)引入李雅普诺夫(Lyapunov)函数(计算能量函数)给出了网络稳定判据^[212],可用于联想记忆和优化计算。甘利俊一(Amari)在神经网络的数学基础理论方面做了大量的研究,包括统计神经动力学、神经场的动力学理论、联想记忆,特别在信息几何方面做了一些奠基性的工作。计算神经科学的研究力图体现人脑的如下基本特征:①大脑皮层是一个广泛连接的巨型复杂系统;②人脑的计算是建立在大规模并行模拟处理的基础之上;③人脑具有很强的“容错性”和联想能力,善于概括、类

比、推广；④大脑功能受先天因素的制约，但后天因素，如经历、学习与训练等起着重要作用，这表明人脑是有很强的自组织性与自适应性。人类的很多智力活动并不是按逻辑推理方式进行的，而是由训练形成的。

目前，对人脑是如何工作的了解仍然很肤浅，计算神经科学的研究还很不充分，我们面临的是一充满未知的新领域，必须在基本原理和计算理论方面进行更深刻的探索。通过对人脑神经系统的结构、信息加工、记忆和学习机制的分析研究，从人脑工作的机理上进行仿真，提出智能科学的新思想、新方法。

计算神经科学的科学问题包括下述几点。

(1) 神经活动的基本过程：研究神经元离子通道及其调控、突触传递及其调控、神经元受体及信号转导、神经活动的同步机理。

(2) 单个神经元的计算模型：单个神经元是构成神经网络的基本单元，它由神经细胞体、树突和轴突构成，神经元之间通过突触连接。

(3) 学习和记忆的神经机制：神经系统因活动和环境等因素的作用而在结构和功能上发生改变，这种改变是学习和记忆等高级脑功能的基础。研究产生这种可塑性，特别是神经突触的可塑性的机制以及学习规则。研究神经元回路信息编码及加工机理。

(4) 神经元和神经系统发育的分子机制：神经细胞在脑发育时由神经干细胞分化而来，以后经过迁移、长出突起、通过形成突触互相连接等过程逐步形成复杂精密的脑。研究调节神经干细胞分化，维持神经细胞存活，调节神经细胞迁移、突起生长和突触形成的神经营养因子，研究它们的作用和作用机理。

(5) 神经递质：研究神经递质的构成，神经递质的合成、维持、释放及与受体的相互作用。

1.4 心理学的研究

心理学是研究心理现象的科学。人的任何活动中都有心理现象。认识活动和情绪、意志，都可以称为心理活动。任何心理活动都有它的发生、发展和完成的过程。例如，思维活动总要经过遇到问题、分析材料、试行解答、检验和修正等阶段。因此，这些心理过程是心理学研究对象的一部分。

心理学研究对象的另一部分是个性心理特点。个性心理特点包括个人的才能和性格。才能是人们认识世界和改造世界的智慧和能力，是人们完成某种活动必备的多种能力的综合。性格是指人对人对事的态度和作风，如热情、爽直、活泼、沉静等方面。

心理学研究的上述两个方面是密切联系的。个性心理特征是通过心理过程形成的，是在对客观世界的认识及其改造过程中逐步生成的。已经生成的个性心理特征又制约着心理过程，在心理过程中表现出来。伟大的生物学家达尔文创立了生物进化论，推动了生物科学的发展，把生物学放在完全科学的基础上。达尔文在描述自己的才能和气质时写道：“我超过常人的地方在于，我能够察觉那些很容易被忽视的事物，我还对它们进行精细的观察”。他探索问题的敏锐性，对任何问题都不倦思索，锲而不舍，勤于观察和收集事实材料，因此他能对人类做出如此大的贡献。

由此可见，心理过程和个性心理特征，是既有区别而又不可分割地融合在一起。心理学