

人工智能

柴玉梅 张坤丽 主编

A
RTIFICIAL
INTELLIGENCE



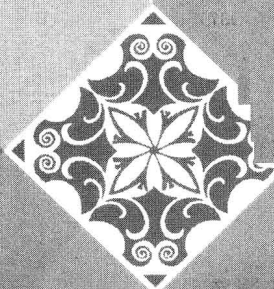
高等院校计算机专业人才培养规划教材(应用型)

人工智能

柴玉梅 张坤丽 主编

A

RTIFICIAL
INTELLIGENCE



机械工业出版社
China Machine Press

本书主要介绍人工智能的基本理论、技术及其应用。全书共分为9章，前五章系统地介绍人工智能的基本内容，后四章简要地介绍当前人工智能的几个主要研究领域。其中，第2章到第5章是本书的重点，各章都是在知识表示技术的基础上介绍相应的问题求解技术；第6章到第9章是扩展部分，对本科生来说，内容略有难度，可根据具体情况在章节和内容层次上进行选择。

本书主要面向计算机科学与技术、软件工程、自动化控制及系统工程等专业本科生，也可以作为相关专业研究生教材或参考书，以及科研人员和爱好者自学的指导书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

人工智能 / 柴玉梅, 张坤丽主编. —北京: 机械工业出版社, 2012.6
(高等院校计算机专业人才培养规划教材·应用型)

ISBN 978-7-111-38401-4

I. 人… II. ①柴… ②张… III. 人工智能—高等学校—教材 IV. TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第099467号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 余洁

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2012年6月第1版第1次印刷

185mm×260mm·16.75印张

标准书号: ISBN 978-7-111-38401-4

定价: 35.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991; 88361066

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

丛 书 序 言

我国高等学校计算机专业建立于 20 世纪 50 年代。经过近 60 年的迅速发展,经历了从精英化教育到大众化教育的发展阶段,目前在校生多达 40 余万人,已成为我国规模最大的理工科专业,为国家建设培养了大批信息技术人才。2006 年,教育部计算机科学与技术专业教学指导委员会发布了《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》(以下简称《规范》),提出了以“按培养规格分类”为核心思想的专业发展建议,把计算机专业人才划分为研究型、工程型、应用型三种不同类型。在《规范》的方针指导下,培养合格的计算机本科人才。

教育包括知识、能力和素质三个方面。知识是基础、载体和表现形式,能力是技能化的知识及其综合体现,素质是知识和能力的升华。专业教育不仅要重视知识的传授,更应突出专业能力的培养,实施能力导向的教育。如何以知识为载体实现能力的培养和素质的提高,特别是实现专业能力和素质的提高是非常重要的。对计算机专业本科教育而言,要想实现能力导向的教育,首先要分析专业能力的构成并考虑如何将其培养落实到教学实践中。为此,教育部高等学校计算机科学与技术专业教学指导委员会开展了计算机科学与技术专业人才培养能力(简称为计算机专业能力)的培养研究。该项研究明确计算机专业本科人才应具有的四大基本能力——计算思维能力、算法设计与分析能力、程序设计与实现能力、系统能力,并将这四大基本能力分解为 82 个能力点,探讨如何面对不同类型学生的教育需求,在教学活动中进行落实。

针对计算机应用型人才的培养,由于其培养数量巨大、社会需求广泛和多样化,所以培养应用型人才的专业能力在具体教学实践上有其自身的特点。计算机应用型人才的培养目标是为国家、企事业信息系统的建设与运行培养信息化技术型人才。本类型人才应能承担信息化建设的核心任务,掌握各种计算机软、硬件系统的性能,善于进行系统的集成和配置,有能力管理和维护复杂信息系统的运行,研究如何实现服务及方便有效地利用系统进行计算等。计算机应用型人才的培养凸显了职业特征,使企业与学校的合作更加紧密,部分课程设置凸显能力培养特征,教学模式也呈现了职业化趋势。

为体现研究成果在教学活动中的实现,我们根据《高等学校计算机科学与技术专业人才培养能力构成与培养》和计算机应用型人才的特点和社会需求出版了这套教材。本套教材面向高等院校计算机应用型人才从知识传授向能力培养转型的需求,在内容的选择、体系安排和教学方法按照专业能力和职业特征的需要进行了探索和诠释。

本套教材在体系结构上,遵从公共基础课程平台、专业核心课程平台、专业选修课程平台、方向课程平台和基本素质课程平台的体系。专业核心课程主要有程序设计基础、离散数学、数据结构、计算机组成原理、操作系统原理、计算机网络原理、数据库系统原理、编译原理等课程。方向课程分为计算机网络、软件工程、信息系统、程序设计、电子商务、嵌入式系统、多媒体技术和计算机硬件等方向。在教材编写上,汇集作者才智,重点突出对计算机应用能力和应用技术的培养。

本套丛书的出版是在配合计算机应用型人才专业能力的培养和落实方面的初步尝试,在教材组织和编写上还会有许多不足和缺陷,需要进一步完善,我们衷心希望本套教材的出版能起到抛砖引玉的作用,也希望广大教育工作者加入到计算机应用型人才能力培养的研究和实践中来,并对相关的教材建设提出自己的宝贵意见。

丛书主编

陳明



前 言

人工智能已经走过了五十余载的历程，虽然历经艰辛与坎坷，但所取得的成绩举世瞩目，如打败国际象棋冠军的“深蓝”和在智力竞猜电视节目中成为王者的“沃森”。人工智能的出现与发展，使得计算机变得越来越“聪明”，从最早的数值计算到今天能在各行各业代替或帮助人们解决更多更复杂问题，计算机求解问题的能力得到了大幅度提高。尤其是近年来，人工智能出现了迅猛发展的势头，新思想、新理论、新技术和新方法不断涌现，使其研究和应用领域在深度和广度上都有了长足的发展。因而，可以说作为一门学科，人工智能已经足够强大和成熟。相应地，加强人工智能课程建设、提高人工智能教学质量以适应人工智能的发展步伐成为时代的要求，而人工智能教材建设就是人工智能课程建设的重要环节和基础。

到目前为止，国内外出现了大量的人工智能相关教材，其中不乏优秀之作。它们各具特色，将本学科理论和技术的精华呈现给广大学生、科研工作者和人工智能爱好者，为培养本学科优秀人才发挥了巨大的作用。本书的作者也是在汲取这些优秀教材营养的过程中成长的，正是受这些优秀教材的影响和启发以及多年在人工智能课程教学中的感受和体会，按照人工智能教学大纲的要求组织本书，希望它能更加通俗易懂、更加实用，尽可能地回答学生提问最多的问题“学习人工智能课程有什么用?”。

本教材在内容组织与安排上基于以下几点考虑：

在结构安排上，考虑了层次性。本书总体上分为两大部分，前五章是人工智能的基础知识，后四章介绍了人工智能当前的一些主要研究领域。根据不同章节对学生的要求不同，前后两部分的写作风格也有一定的不同，前一部分较为详细，后一部分更注重思想及应用的宏观展示。

在内容组织上，注重人工智能基本技术之间的联系。第2到第5章是人工智能课程较为重要的基础知识介绍，为了使得各种问题求解技术的学习更为具体，每一章都先学习知识表示技术，然后学习相应的搜索或推理技术，并介绍相应技术在一个问题求解系统中的运用。这样，也使得每章内容相对完整和独立。

在内容讲解上，力求通俗易懂。在原理和方法的讲解过程中，使用大量的图示和实例，使得抽象的内容更加直观、易懂，并通过一些实际案例说明相关知识的应用，尽可能做到将基本理论和实际应用结合在一起，使学生能够了解到所学内容在现实中的用途。

另外，为了加强课程的实践环节，针对主要内容设计了实验题目。为了帮助学生顺利完成实验并深入理解所学内容，每个实验都给出实验指导和参考代码，供实验课程使用。由于篇幅所限，实验参考代码等电子资源以教辅的形式在华章网站（www.hzbook.com）上提供。

本教材的编写历时两年，作者查阅了大量资料，对内容组织、结构安排、实例选择等进行了多次讨论和反复修改。柴玉梅编写第1、2、6、7章；张坤丽编写第3、4、5章；贾玉祥编写第8章；王黎明编写第9章；柴玉梅、张坤丽对全书进行了统稿。胥红英、韩英杰老师为本书的编写提出了很多宝贵建议；硕士研究生杨艳艳、刘欣欣、张育培、张利凯和本科生赵芳芳、何莹等为书中的插图和算法实现等做了大量的工作，在此对他们表示衷心的感谢！

在这里，尤其要感谢黄昌宁教授。黄教授在人工智能领域有着丰富的理论和实践经验，并取得了突出的成就。在百忙之中，黄教授就人工智能教材内容的选取及结构安排提出了指导性的建议，并提供了大量有价值的参考资料。黄教授的指导和建议对本书的成文以及我们以后的教学和科研工作都有重要的作用！

由于作者水平有限，加之人工智能学科发展迅速，因此，书中不妥和错误之处在所难免，诚恳地希望专家和读者提出宝贵意见，以促进本书的改进和完善。



目 录

出版者的话	
丛书序言	
丛书编委会	
前言	
教学建议	

第 1 章 绪论	1
1.1 什么是人工智能	1
1.1.1 人工智能	1
1.1.2 智能	2
1.1.3 人工智能的测试	3
1.2 人工智能的研究内容	5
1.2.1 学科结构	5
1.2.2 基本技术	6
1.2.3 基本内容	7
1.3 人工智能的研究目标	7
1.4 人工智能的研究途径和方法	7
1.4.1 传统划分方法	7
1.4.2 现代划分方法	9
1.5 人工智能的研究领域	10
1.5.1 博弈	10
1.5.2 自动定理证明	10
1.5.3 专家系统	11
1.5.4 模式识别	12
1.5.5 机器学习	13
1.5.6 计算智能	13
1.5.7 自然语言处理	14
1.5.8 分布式人工智能	15
1.5.9 机器人	15

1.6 人工智能的发展概况	17
1.6.1 诞生	17
1.6.2 发展	17
1.6.3 现状与发展趋势	18
习题 1	19
第 2 章 基于图的知识表示与图搜索技术	20
2.1 概述	20
2.1.1 知识与问题求解框架	20
2.1.2 知识表示	21
2.1.3 图搜索技术	22
2.2 状态空间图表示	23
2.2.1 状态空间图	23
2.2.2 隐式状态空间图	28
2.3 状态空间图的盲目搜索	30
2.3.1 广度优先搜索	31
2.3.2 深度优先搜索	32
2.4 状态空间图的启发式搜索	34
2.4.1 启发式搜索算法	34
2.4.2 启发式搜索的 A 算法和 A* 算法	35
2.4.3 A* 算法在游戏中的应用	41
2.5 与或图表示及搜索技术	43
2.5.1 与或图表示	43
2.5.2 与或树的盲目搜索	46
2.5.3 与或树的启发式搜索	48
2.6 博弈树及搜索技术	51
2.6.1 博弈树	51
2.6.2 博弈树搜索	52
2.6.3 剪枝技术在博弈问题中的应用	56
习题 2	60

第3章 基于谓词逻辑的知识表示与

机器推理技术 64

3.1 机器推理概述 64

3.2 谓词逻辑简介 65

3.2.1 基于命题逻辑的知识表示 65

3.2.2 谓词逻辑 65

3.2.3 基于谓词逻辑的知识表示 68

3.3 自然演绎推理 71

3.4 归结演绎推理 73

3.4.1 子句集 73

3.4.2 命题逻辑中的归结原理 77

3.4.3 替换与合一 79

3.4.4 谓词逻辑中的归结原理 81

3.4.5 利用归结原理求解问题 84

3.4.6 归结策略 86

3.5 归结原理与 Prolog 语言 92

3.5.1 Horn 子句 92

3.5.2 逻辑程序设计语言 Prolog 94

3.6 基于规则的演绎推理 97

3.6.1 正向演绎推理 97

3.6.2 反向演绎推理 100

3.6.3 双向演绎推理 102

习题3 102

第4章 不确定性知识的表示与推理

技术 105

4.1 不确定性知识的表示与推理概述 105

4.1.1 不确定性及其类型 105

4.1.2 不确定性推理 106

4.2 确定性理论 108

4.2.1 知识的不确定性表示 108

4.2.2 证据的不确定性表示 110

4.2.3 不确定性的传播与计算 111

4.2.4 确定性理论的特点及进一步

发展 112

4.3 主观贝叶斯方法 113

4.3.1 知识的不确定性表示 113

4.3.2 证据的不确定性表示 114

4.3.3 不确定性的传播与计算 115

4.3.4 主观贝叶斯方法的特点 118

4.4 证据理论 118

4.4.1 D-S 理论 119

4.4.2 证据理论的不确定性推理模型 123

4.5 基于贝叶斯网络的推理 129

4.5.1 什么是贝叶斯网络 129

4.5.2 贝叶斯网络推理 129

4.6 模糊推理 132

4.6.1 模糊集合及模糊逻辑 132

4.6.2 简单模糊推理 137

4.7 不确定性推理的应用 139

习题4 140

第5章 产生式表示与专家系统 142

5.1 产生式与产生式系统 142

5.1.1 产生式表示 142

5.1.2 产生式系统结构 144

5.1.3 产生式系统工作过程 145

5.2 专家系统概述 150

5.2.1 什么是专家系统 151

5.2.2 专家系统的类型 151

5.2.3 专家系统的发展 153

5.3 专家系统结构及工作过程 155

5.3.1 专家系统的结构 155

5.3.2 专家系统工作过程 156

5.4 专家系统的开发 159

5.4.1 开发步骤和方法 159

5.4.2 知识获取 160

5.4.3 推理机及解释机构设计 161

5.4.4 开发工具及开发环境 162

5.5 专家系统的实例 164

5.6 新型专家系统 166

5.6.1 分布式专家系统 166

5.6.2 协同式专家系统 167

5.6.3 模糊专家系统 168

5.6.4 神经网络专家系统 169

习题5 170

第 6 章 机器学习	171	7.4.1 固体退火过程	202
6.1 概述	171	7.4.2 模拟退火算法模型	203
6.1.1 机器学习的定义	171	7.4.3 模拟退火算法的应用	204
6.1.2 机器学习系统的基本结构	171	习题 7	204
6.1.3 一个学习系统的例子	172	第 8 章 自然语言处理	205
6.2 概念学习	174	8.1 概述	205
6.2.1 概念学习的 FIND-S 算法	174	8.1.1 自然语言的特点	206
6.2.2 FIND-S 算法实例	174	8.1.2 自然语言处理涉及的层次	207
6.3 决策树	175	8.2 词法分析	208
6.3.1 决策树的表示	176	8.2.1 英语中词的识别	208
6.3.2 决策树的学习——ID3 算法	176	8.2.2 汉语分词	209
6.3.3 ID3 算法实例	178	8.3 句法分析	211
6.4 人工神经网络	179	8.3.1 短语结构语法	211
6.4.1 感知器	180	8.3.2 依存语法	212
6.4.2 线性单元	181	8.4 语义分析	212
6.4.3 多层网络和反向传播算法	182	8.4.1 词义消歧	213
6.4.4 反向传播算法实例	183	8.4.2 语义角色标注	213
6.5 遗传算法	186	8.5 语言知识库	213
6.5.1 遗传算法模型	186	8.5.1 现代汉语语法信息词典	214
6.5.2 遗传算法实例	188	8.5.2 知网	215
6.5.3 遗传编程	190	8.5.3 现代汉语虚词用法知识库	216
6.5.4 遗传编程举例	191	8.6 自然语言处理的应用	218
习题 6	192	8.6.1 机器翻译	218
第 7 章 计算智能	194	8.6.2 信息检索	219
7.1 人工免疫算法	194	习题 8	220
7.1.1 自然免疫系统	194	第 9 章 分布式人工智能及其应用	221
7.1.2 人工免疫算法模型	195	9.1 DAI 的特点	221
7.1.3 人工免疫算法的应用	196	9.1.1 Agent 及其特性	222
7.2 蚁群算法	197	9.1.2 Agent 分类	223
7.2.1 蚂蚁系统的原理	197	9.1.3 Agent 的 BDI 模型	225
7.2.2 蚁群算法模型	198	9.1.4 Agent 联盟	226
7.2.3 蚁群算法的应用	200	9.1.5 DAI 系统特性	228
7.3 粒子群算法	201	9.2 多 Agent 系统	228
7.3.1 粒子群系统	201	9.2.1 多 Agent 系统分类	229
7.3.2 粒子群算法模型	201	9.2.2 Agent 的学习	229
7.3.3 粒子群算法的应用	202	9.2.3 多 Agent 通信	230
7.4 模拟退火算法	202	9.3 分布式问题求解	232

9.3.1 多 Agent 联合求解过程	233	习题 9	244
9.3.2 合同网	234	实验指导	245
9.4 并行人工智能	235	基础实验部分	245
9.4.1 并行人工智能的软件支持	235	实验一 求解八数码问题	245
9.4.2 并行人工智能的硬件支持	236	实验二 使用极小极大分析方法实现 井字棋游戏	245
9.5 分布式人工智能的应用	237	实验三 实现基于谓词逻辑的归结 原理	246
9.5.1 多 Agent 在军事作战指挥系统 中的应用	237	实验四 实现一个基于产生式系统的 小型专家系统	246
9.5.2 多 Agent 在智能交通中的 应用	239	扩展实验部分	247
9.5.3 多 Agent 在智能大厦中的 应用	242	参考文献	248

第1章 绪 论

提到“人工智能”，很多人一定会联想到“机器人”，联想到电视上经常播放的机器人踢足球、跳舞、做家务等场面，甚至会联想到某些家用电器上标有“人工智能（或 AI）”功能。没错，机器人确实是人工智能技术的一个典型应用，但人工智能还有更加广泛的研究和应用领域。众所周知，1997 年 5 月 11 日，IBM 超级计算机“深蓝”（Deeper Blue）战胜了国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫；2011 年 2 月 17 日，在美国最受欢迎的智力竞猜电视节目《危险边缘》（Jeopardy）中，IBM 超级计算机“沃森”（Watson）击败该节目历史上两位最成功的选手，这些都是人工智能技术成功的代表。本章简要介绍究竟什么是人工智能，人工智能有哪些研究内容，研究目标是什么，有哪些研究途径和方法，研究领域是什么，发展方向和现状如何等。

1.1 什么是人工智能

作为一门学科，人工智能从正式诞生到现在已经有半个多世纪了，无论是在理论研究方面还是在技术应用方面，都取得了显著的成就，给人类生活和社会进步带来巨大影响。然而，随着相关学科的发展，人们对智能和人工智能的认识在不断变化，研究人工智能的方法和途径也在不断变化。所以，到目前为止，关于“人工智能”术语的科学定义，学术界一直没有给出完全统一的认识，为了理解的方便，这里介绍一些目前使用较多的定义。

1.1.1 人工智能

人工智能（Artificial Intelligence, AI），又称机器智能（Machine Intelligence, MI），主要研究用人工的方法和技术开发智能机器或智能系统，以模仿、延伸和扩展人的智能、生物智能、自然智能，实现机器的智能行为。

学者们从不同的角度、不同的层面给出了各自的定义。

1) 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（Bellman, 1978）。

2) 人工智能是研究怎样让计算机模拟人脑从事推理、规划、设计、思考、学习等思维活动，解决至今认为需要由专家才能处理的复杂问题（Elaine Rich, 1983）。

3) 人工智能是研究如何让计算机做现阶段只有人才能做好的事情（Rich Knight, 1991）。

4) 人工智能是那些使知觉、推理和行为成为可能的计算的研究（Winston, 1992）。

5) 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、交流和在复杂环境中的行为（Nilsson, 1998）。

6) 人工智能定义分为 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、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（Stuart Russell 和 Peter Norvig, 2003）。

随着人工智能研究的不断深入和发展，人工智能的定义也随之变化。原中国人工智能学

会理事长涂序彦教授在《人工智能诞辰 50 周年的回顾与展望》中，概括了“广义人工智能 GAI”的含义：

1) “广义人工智能”是兼容多学派的“多学派人工智能”，模拟、延伸与扩展“人的智能”及其他动物智能，既研究“机器智能”，也研究“智能机器”。

2) “广义人工智能”是多层次结合的“多层次人工智能”，例如：自推理、自联想、自学习、自寻优、自协调、自规划、自感知、自识别、自辨识、自诊断、自预测、自聚焦、自融合、自适应、自组织、自整定、自校正、自稳定、自修复、自繁衍、自进化等。

3) “广义人工智能”不仅研究个体的、单机的、集中式的人工智能，而且研究群体的、网络的、多智能体、分布式人工智能，研究如何使分散的“个体人工智能”形成协同的“群体人工智能”，模拟、延伸与扩展人类或其他动物的群体智能。

人工智能的定义也可以粗略地概括为：用机器模拟或实现人类智能。那么，究竟什么是智能？机器具备了什么样的能力特征才可以说它具有了智能呢？

1.1.2 智能

提到“智能”一词，人们会想到“智力”、“智慧”、“聪明”、“天才”等词汇，进一步联想到智力游戏、计算、推理、学习、博弈以及难题求解等。但对智能给出一个完整的定义却是非常困难的，人工智能之所以难于定义其原因也与此有关。长期以来，人们从不同的角度对智能进行了深入的研究，并给出各种各样的认识，涉及哲学、生理学、认知心理学、认知工程学、脑科学、语言学、逻辑学、信息论、控制论、系统论等众多学科。

随着智能科学及相关学科的发展，尤其是人工智能学科的飞速发展，人们对智能的认识不断深入，从早期对智能的狭义理解发展到了今天的广义智能观。

1. 从微观和宏观的角度认识智能

微观上，考虑的是智能产生的根源或机理。人的智能产生于人的大脑，人在思维时，大脑中不同部位的神经元分工、协作，产生或传递各种信号，并产生相应的输出结果，支配人的具体行为。而人脑是一个由 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经元连接形成的巨系统，结构和活动规律都极其复杂，受相关学科发展的限制，人们至今还无法清楚地了解和解释智能的微观产生过程。智能的产生作为自然界的四大奥秘（物质的本质、宇宙的起源、生命的本质、智能的产生）之一仍然需要进一步的深入研究。目前，广泛应用的人工神经网络仅仅是对人脑极其粗浅的模拟。

宏观上，从智能产生的认知过程来理解，人脑的智能都是某种心理活动或思维过程的结果；也可以从智能的外在表现来理解，智能是人类和一些动物特有的在解决具体问题时所表现出的智力或行为能力。智能系统通常包括感知、记忆与思维、效应三大部分，甚至更狭义地理解为智能系统主要完成思维活动。

2. 从知识工程的角度认识智能

人们常说“知识是人类智慧的结晶”，也常说“知识是智慧的源泉”。总之，知识和智慧或智能密不可分。所以，对智能还有一种解释：从内涵上，智能=知识+思维；从外延上，智能就是发现规律、运用规律的能力和分析问题、解决问题的能力（或者说获取知识、处理知识、运用知识的能力）。

3. 广义智能观

近年来，一些学者提出了广义智能观的概念，如何华灿、涂序彦教授等认为“智能广泛

存在于自然界中”，何华灿教授认为“广义智能是信息系统感知环境及其变化，通过自身结构和功能的改变，恰当而有效地对其做出反应，以适应环境，达到系统生存目标的能力”，钟义信教授则认为“广义智能是一切可以把信息转化为知识，把知识转化为智力的机制”。

何华灿教授还对广泛存在于自然界中的自然智能的表现进行了较为全面的概括：

1) 系统发育层面：在生物的系统发育过程中，存在一种自然智能——进化机制，它一般都能使生命不断适应生存环境的时空变化，最大限度地保存自己。例如，生物通过遗传、变异和选择等过程使物种得以发展等。

2) 个体发育层面：生物个体发育过程中，存在一种自然智能——生长机制，它一般都能使生物个体适应生存环境进行生长发育，达到最佳的生存状态。例如，植物的根系必须绕开石头向着有水肥的地方生长等。

3) 个体免疫层面：在生物的免疫系统中，存在一种自然智能——免疫机制，它一般都能保证生物个体在存在大量有害微生物入侵的环境中平安地生存下去。例如，种牛痘可以预防天花感染等。

4) 神经网络层面：在动物的大脑中存在一种自然智能——神经机制，它一般都能认识生存环境，并对环境的变化做出恰当的反应，保证自身更好地生存下去。例如，动物认识巢穴、与伙伴联合捕捉猎物、巧妙地趋利避害等。

5) 抽象思维层面：人类的抽象思维能力是一种自然智能——思维机制，它的基本功能是记忆、联想、问题求解、学习和发现等。思维机制的模拟导致了人工智能的诞生和早期发展，然而，经典数理逻辑无法解决现实中不良结构问题，是导致狭义人工智能出现理论危机的直接原因。

6) 群体协作层面：在生物的群体行为中，存在一种自然智能——协作机制，它一般能保证生物群体的能力高于任何单一个体的能力，使整个群体能够更好地生存繁衍下去，例如，蚁群、蜂群、猴群和人类社团等。

7) 生态系统层面：在生态系统中，存在一种自然智能——平衡机制，它一般能保证整个生态系统相对于其生存环境处在一个最佳的平衡状态中。例如，生物群落间的相互制约、相互依存关系，使生态系统处于相对平衡状态。

正是依靠上述自然智能机制的模型计算，成功地实现了各种自然智能的模拟问题，促进了广义人工智能的形成。自然计算在当今的人工智能研究中引起了人们的极大关注，具有极其重要的位置。

1.1.3 人工智能的测试

人工智能的测试或界定问题与智能、人工智能的定义是密不可分的，而且更加困难。以下两个测试反映了人工智能不同学派之争的本质所在。

1. 图灵测试

1950年，为了说明机器能思维，英国数学家、逻辑学家、计算机科学创始人阿兰·麦席森·图灵（Alan Mathison Turing）对智能问题从行为主义的角度给出了定义，提出了一个测试标准，来判断机器能否被认为是“能思考”或具有智能。这就是著名的图灵测试：参加者在与两个匿名的交流对象进行一系列的问答后，如果在相当长时间内，他无法根据这些问题判断对方哪个是人、哪个是计算机，那么，就可以认为这个计算机具有与人相当的智力，即这台计

计算机具有智能。图 1-1 给出了图灵测试示意图。这个测试方法很简单，但目前能通过该测试的计算机仍然很少。不过，就超级计算机“沃森”的表现来看，它应该是能够通过图灵测试的。

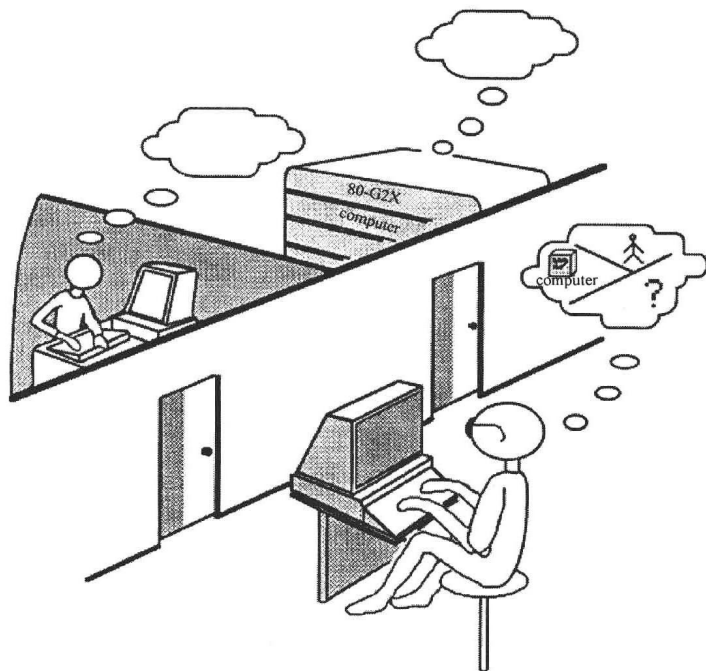


图 1-1 图灵测试示意图

2. 中文屋子

对于图灵测试的争议一直存在，1980 年人工智能的反对派、哲学家西尔勒（John Searle）提出了名为“中文屋子”的假想实验。他模拟图灵测试过程，但目的是反驳图灵测试。他要说明的是即使某台计算机通过了图灵测试，能正确地回答问题，但它对问题没有任何理解，因此仍然不具备真正的智能。图 1-2 给出了中文屋子示意图。

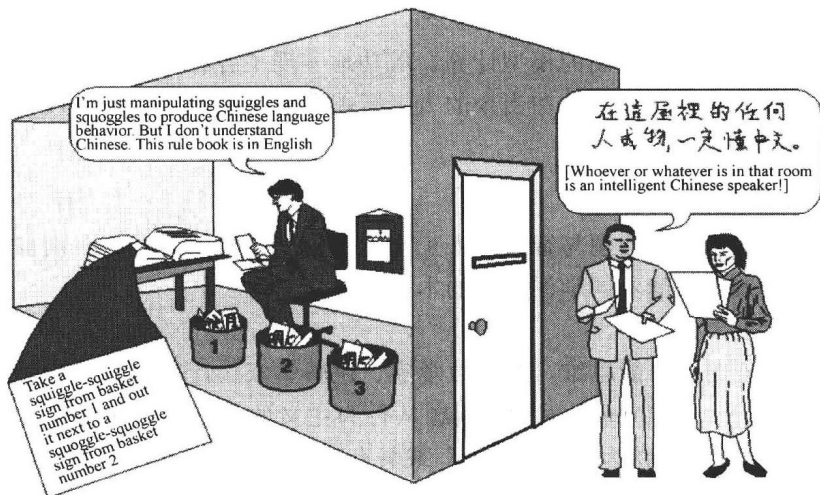


图 1-2 中文屋子示意图

西尔勒博士（扮演计算机中的 CPU）在一个封闭的房子里，有输入、输出通道与外部相通。输入的是中文问题，但他对中文一窍不通。房子内有一本英文指令手册（相当于程序），从中可以找到计算机处理中文时使用的方式和规则。他按照与计算机同样的方式和规则处理中文，把作为答案的中文符号写在纸（相当于存储器）上，并输出到屋子外面。这样，看起来他能处理输入的中文问题，并给出了正确答案（如同一台计算机通过了图灵测试）。但实际上，他对那些问题毫无理解，甚至不理解其中的任何一个词；而且，他在进入屋子前后中文水平也没有任何改变。基于这一点，西尔勒认为，即使机器通过了图灵测试，也不一定说明机器就真的像人一样有思维和意识。

“图灵测试”和“中文屋子”之争的根源还是在于究竟什么是智能、什么是人工智能，前者是弱人工智能观点的代表，而后者是强人工智能观点的代表。

事实上，什么是真正的智能，什么是人工智能，怎样才能判断一台机器是否具有了智能；为什么人工智能经历了半个世纪的发展，机器的智能和人类智能相比还如此幼稚，以至于和人们的想象与期待相距甚远；现在人工智能所使用的方法和人类智能产生的方法本质上有很大不同，其前途如何；未来的人工智能会是什么样的。自从人工智能问世以来或之前很长一段时期，这一连串的问题就一直困惑着人们，争论也从未停止过。

在人工智能诞生之前和诞生之初，不断有来自反对派的声音。神学认为：“思维是人类不朽灵魂的一种机能，上帝把不朽的灵魂给了每个男人和女人，而没有给任何动物和机器。所以，任何动物和机器都不能有思维。”还有一种被图灵称为是“把头埋在沙中”的代表性意见：“机器思维的后果太可怕了，我们希望并且相信机器做不到这一点。”

1950 年 10 月，图灵发表的一篇题为《机器能思考吗？》的论文成为划时代之作。在这篇论文里，图灵第一次提出“机器思维”的概念。他还列举了当时来自神学、数学、意识论等各种观点下的反对意见，并逐条进行了反驳，做出了机器能思维的肯定回答。人工智能发展到今天所取得的巨大成就也用事实证明给出了肯定的答案。

人们使用不同的方法和途径研究人工智能，形成了人工智能不同流派，但现代人工智能的研究已经汇集多种研究方法之长，相互渗透，走上共同发展的道路，从而推动了人工智能及智能科学的快速发展。

1.2 人工智能的研究内容

人工智能是一门综合性极强的交叉性学科，当前的人工智能既属于计算机科学与技术的一个前沿领域，也属于信息处理和自动化技术的一个前沿领域。有些人认为，人工智能仅仅是计算机学科的一个分支。事实上，计算机只不过是现阶段人们研究、实现智能的一种工具和载体，也许未来人们将制造出某种更高级的机器，如与人的外形、内部结构和智能行为完全一样的“机器人”。毫不夸张地说，人工智能的研究与进展几乎涉及并影响到自然科学和社会科学的所有学科。大体来看，社会科学的相关理论和方法为人工智能的研究提供方法论的指导，自然科学为人工智能的研究提供理论和技术的指导。

1.2.1 学科结构

人工智能的研究涉及智能科学、认知科学、心理科学、脑及神经科学、生命科学、语言学、逻辑学、行为科学、教育科学、系统科学、数理科学以及控制论、科学方法论、哲学甚

至经济学等众多学科领域。究其原因,人工智能的目标是要模拟或代替人来解决存在于自然和社会各领域中的各种问题,就需要以各学科领域为研究对象和研究背景,并借鉴相关学科解决问题的理论和方法。当然,面对众多的研究和应用领域,人工智能学科自身的理论、方法和技术在人工智能学科结构中占有重要的核心位置。

1974年,Nilsson(尼尔逊)提出了人工智能学科结构,如图1-3所示。

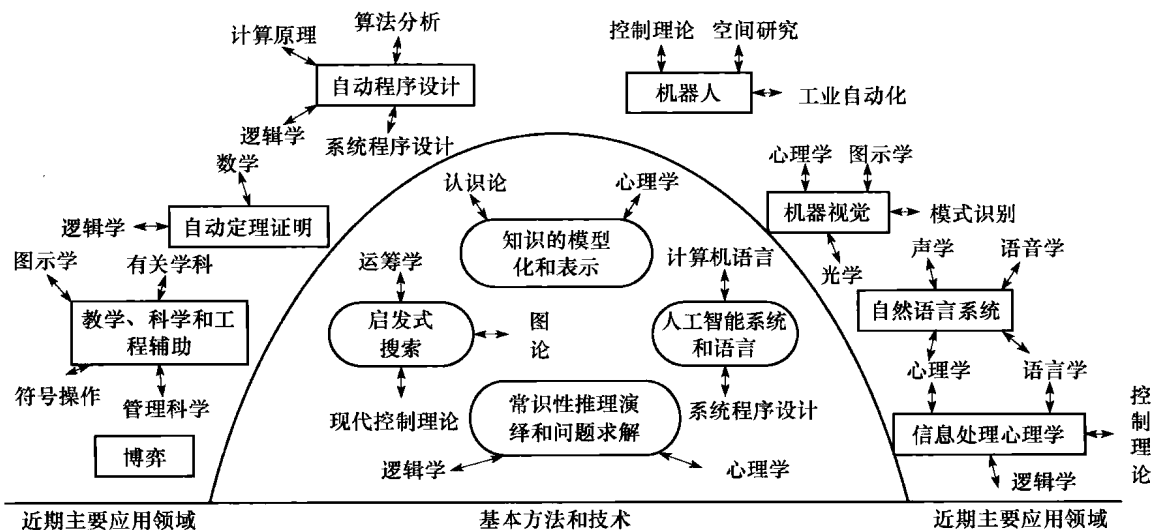


图 1-3 人工智能学科结构

三十多年过去了,虽然人工智能的主要研究和应用领域在广度和深度上都有了很大发展,但这里给出的学科结构对探讨当今人工智能的基本技术和方法以及主要研究内容仍有重要指导意义。

1.2.2 基本技术

目前的计算机还远没有达到能像人一样自如地听、说、读、写、行动等,对信息的接收、处理及输出还都需要特定的形式。所以,用计算机求解智能问题一般要解决:

1) 待求解问题及相关知识的逻辑模型化,即建立一套符号体系,描述求解问题过程中所需的相关知识。

2) 在一定的知识表示形式基础上,研究各种问题求解过程,包括基于符号形式表示的各种知识推理过程;基于各种抽象空间表示的图的搜索过程,尤其是启发式推理过程;以数学模型、自然模型为基础的模型计算过程,通常把这些过程表示成某种可机械地执行的智能算子或过程。

3) 将形式化的各种知识转换成计算机内部表示,将各种问题求解过程代码化,并在一定的计算机上运行。

在图1-3内核部分给出了人工智能的基本方法和技术,包括知识的模型化和表示技术、常识性推理演绎和问题求解技术、启发式搜索技术、人工智能系统和语言等。将其与上面三个环节对应起来可以综合为人工智能的三大基本技术:

- 知识表示技术:研究各种知识的形式化方法,并要求所采用的形式化方法能够便于知识在计算机中进行存储、组织,便于问题求解中的检索、推理等操作,包括知识