

---

Intelligence Science

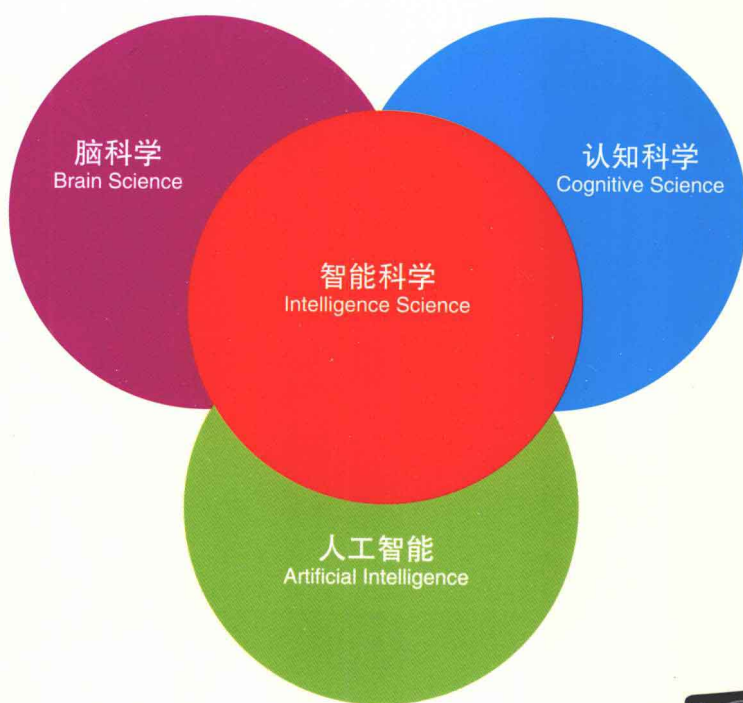
# 智能科学

(第2版)

---

史忠植 著

---



清华大学出版社

智能科学研究智能的本质和实现技术,是脑科学、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、信息科学技术的核心、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,将对国民经济发展、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,面临原创性机遇。

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经进入新的阶段。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、环境的污染、资源的耗竭、人口的膨胀等,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。

进入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,由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于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,2008年确立了“视听觉信息的认知计算”重大研究计划。国家科技部也对智能科学的有关研究给予极大支持。

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、信息科学、形式系统、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。2006年出版第1版以来,国内外在该领域的研究取得了极大进展,我们也取得了不少成果。为了反映智能科学的最新研究成果和发展方向,对原书第1版作了全面修改,特别增加了具有重大应用前景的智能技术,包括脑机融合、智能机器人、类脑智能机等。

全书共分18章。第1章是绪论,介绍智能科学兴起的科学背景和基本问题;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;语言的发展对人类大脑的进化发生重大影响,第8章讨论语言的理论;第9章重点论述重要的学习理论;记忆是思维的基础,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章初步探讨意识问题;形式系统是机器智能的重要基础,第15章讨论符号逻辑和机器证明;将机器的高性能与人脑的高智能结合也许能开辟智能技术的新途径,第16章探讨脑机融合;第17章介绍人工脑和智能机器人研究的进展;第18章概述国际上重大的类脑智能机计划的研究进展和基本原理。

本书撰写过程中,得到国内外许多专家的支持和帮助,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,感谢中国科学院计算技术研究所智能科学实验室的同事,他们的丰硕成果和贡献是本书学术思想的重要源泉。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。

本书研究工作得到国家重点基础研究发展计划课题“脑机协同的认知计算模型”(No. 2013CB329502)、“非结构化信息(图像)的内容理解与语义表征”(No. 2007CB311004);自然科学基金重点项目“基于云计算的海量数据挖掘”(No. 61035003)、“基于感知学习和语言认知的智能计算模型研究”(No. 60435010)、“Web搜索与挖掘的新理论与方法”(No. 60933004)等的支持;国家863高技术项目“海量Web数据内容管理、分析挖掘技术与大型示范应用”(No. 2012AA011003)、“软件自治愈与自恢复技术”(No. 2007AA01Z132)等项目的支持;清华大学出版社对本书的出版给予了大力支持,在此一并致谢。

本书可作为大学高年级和研究生智能科学、认知科学、认知信息学、人工智能等课程的教科书,本书对从事智能科学、脑科学、认知科学、人工智能、神经科学、心理学、哲学等领域的人员也具有重要的参考价值。

智能科学是处于研究发展中的前沿交叉学科,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

2013年1月 于北京

# 目 录

>>

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....       | 1  |
| 1.1 人类的梦想 .....      | 1  |
| 1.2 智能科学的兴起 .....    | 3  |
| 1.3 智能科学的科学问题 .....  | 7  |
| 1.4 智能科学的实验技术 .....  | 13 |
| 1.5 展望 .....         | 15 |
| 第 2 章 神经生理基础 .....   | 17 |
| 2.1 脑系统 .....        | 17 |
| 2.2 神经组织 .....       | 19 |
| 2.2.1 神经元的基本组成 ..... | 19 |
| 2.2.2 神经元的分类 .....   | 21 |
| 2.2.3 神经胶质细胞 .....   | 21 |
| 2.3 突触传递 .....       | 23 |
| 2.3.1 化学性突触 .....    | 24 |
| 2.3.2 电突触 .....      | 26 |
| 2.3.3 突触传递的机制 .....  | 26 |
| 2.4 神经递质 .....       | 27 |
| 2.4.1 乙酰胆碱 .....     | 28 |
| 2.4.2 儿茶酚胺类 .....    | 28 |
| 2.4.3 5-羟色胺 .....    | 32 |
| 2.4.4 氨基酸和寡肽 .....   | 34 |
| 2.4.5 一氧化氮 .....     | 34 |
| 2.4.6 受体 .....       | 34 |
| 2.5 信号跨膜转导 .....     | 35 |
| 2.5.1 转导蛋白 .....     | 36 |
| 2.5.2 第二信使 .....     | 37 |
| 2.6 静息膜电位 .....      | 39 |
| 2.7 动作电位 .....       | 42 |
| 2.8 离子通道 .....       | 46 |



|                      |            |
|----------------------|------------|
| 2.9 神经系统             | 47         |
| 2.9.1 中枢神经系统         | 47         |
| 2.9.2 周围神经系统         | 48         |
| 2.10 大脑皮层            | 49         |
| <b>第3章 神经计算</b>      | <b>53</b>  |
| 3.1 概述               | 53         |
| 3.2 神经元模型            | 62         |
| 3.3 反传学习算法           | 63         |
| 3.3.1 反传算法的原理        | 63         |
| 3.3.2 反传算法的数学表达      | 64         |
| 3.3.3 反传算法的执行步骤      | 66         |
| 3.3.4 对反传网络优缺点的讨论    | 67         |
| 3.4 Hopfield 模型      | 68         |
| 3.4.1 离散 Hopfield 网络 | 68         |
| 3.4.2 连续 Hopfield 网络 | 71         |
| 3.5 自适应共振理论 ART 模型   | 73         |
| 3.5.1 ART 模型的结构      | 73         |
| 3.5.2 ART 的基本工作原理    | 75         |
| 3.5.3 ART 模型的数学描述    | 80         |
| 3.6 神经网络集成           | 81         |
| 3.6.1 结论生成方法         | 82         |
| 3.6.2 个体生成方法         | 83         |
| 3.7 脉冲耦合神经网络         | 83         |
| 3.7.1 Eckhorn 模型     | 84         |
| 3.7.2 脉冲耦合神经网络模型     | 84         |
| 3.7.3 贝叶斯连接域神经网络模型   | 86         |
| 3.8 神经场模型            | 87         |
| 3.8.1 神经场表示          | 87         |
| 3.8.2 神经场学习理论        | 90         |
| 3.9 功能柱神经网络模型        | 94         |
| 3.9.1 模型与方法          | 94         |
| 3.9.2 单功能柱模型的模拟结果    | 97         |
| <b>第4章 心智模型</b>      | <b>101</b> |
| 4.1 心智建模             | 101        |
| 4.2 图灵机              | 103        |
| 4.3 物理符号系统           | 104        |
| 4.4 记忆模型             | 107        |

|              |               |            |
|--------------|---------------|------------|
| 4.4.1        | 联想记忆模型        | 107        |
| 4.4.2        | 流程型认知模型       | 109        |
| 4.4.3        | 认知—记忆信息处理模型   | 110        |
| 4.5          | ACT 模型        | 111        |
| 4.6          | SOAR 模型       | 112        |
| 4.7          | 心智的社会         | 114        |
| 4.8          | 心智模型 CAM      | 115        |
| 4.9          | 动力系统理论        | 116        |
| 4.10         | 大脑协同学         | 118        |
| <b>第 5 章</b> | <b>感知</b>     | <b>121</b> |
| 5.1          | 概述            | 121        |
| 5.2          | 感知的基本形式       | 123        |
| 5.2.1        | 感觉            | 123        |
| 5.2.2        | 知觉            | 125        |
| 5.2.3        | 表象            | 126        |
| 5.3          | 知觉恒常性         | 131        |
| 5.4          | 特征捆绑          | 133        |
| 5.4.1        | 特征整合理论        | 134        |
| 5.4.2        | 特征捆绑的形式模型     | 134        |
| 5.4.3        | 双阶段理论         | 135        |
| 5.4.4        | 时间同步理论        | 136        |
| 5.4.5        | 神经网络模型        | 136        |
| 5.5          | 知觉理论          | 137        |
| 5.5.1        | 建构理论          | 137        |
| 5.5.2        | 直接知觉          | 138        |
| 5.5.3        | 格式塔理论         | 140        |
| 5.6          | 知觉有效编码        | 142        |
| <b>第 6 章</b> | <b>视觉信息处理</b> | <b>146</b> |
| 6.1          | 视觉的生理机制       | 146        |
| 6.1.1        | 视网膜           | 146        |
| 6.1.2        | 光感受器          | 147        |
| 6.1.3        | 外膝体           | 148        |
| 6.1.4        | 视皮层           | 149        |
| 6.2          | 视皮层信息处理       | 150        |
| 6.2.1        | 视皮层感受野        | 150        |
| 6.2.2        | 特征选择性         | 151        |
| 6.2.3        | 功能柱           | 152        |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 6.2.4 球状功能结构          | 153        |
| 6.3 颜色视觉              | 153        |
| 6.4 马尔的视觉计算理论         | 154        |
| 6.5 格式塔视觉理论           | 158        |
| 6.6 拓扑视觉理论            | 159        |
| 6.7 视觉的正则化理论          | 162        |
| 6.8 基于模型的视觉理论         | 165        |
| 6.9 计算机视觉             | 166        |
| 6.9.1 图像分割            | 168        |
| 6.9.2 图像理解            | 170        |
| 6.9.3 主动视觉            | 170        |
| 6.9.4 立体视觉            | 171        |
| 6.9.5 利用启发式知识的方法      | 174        |
| 6.10 同步化响应            | 175        |
| 6.10.1 概述             | 175        |
| 6.10.2 神经生物学实验        | 176        |
| 6.10.3 时间编码           | 177        |
| 6.10.4 视皮层的神经元振荡模型    | 178        |
| 6.10.5 视觉系统中的表象与尺度变换  | 179        |
| 6.10.6 神经网络中的非线性动力学问题 | 181        |
| <b>第7章 听觉信息处理</b>     | <b>183</b> |
| 7.1 听觉通路              | 183        |
| 7.2 听觉信息的中枢处理         | 185        |
| 7.2.1 频率分析机理          | 185        |
| 7.2.2 强度分析机理          | 187        |
| 7.2.3 声源定位和双耳听觉       | 187        |
| 7.2.4 对复杂声的分析         | 187        |
| 7.3 语音编码              | 188        |
| 7.4 韵律认知              | 189        |
| 7.4.1 韵律特征            | 189        |
| 7.4.2 韵律建模            | 192        |
| 7.4.3 韵律标注            | 192        |
| 7.4.4 韵律生成            | 193        |
| 7.4.5 韵律生成的认知神经科学机制   | 194        |
| 7.5 语音识别              | 194        |
| 7.5.1 语音识别概况          | 194        |
| 7.5.2 单词识别理论          | 197        |
| 7.5.3 中文语音识别系统        | 198        |

|            |                      |            |
|------------|----------------------|------------|
| 7.6        | 语音合成 .....           | 201        |
| 7.6.1      | 语音合成概况 .....         | 201        |
| 7.6.2      | 语音合成的方法 .....        | 201        |
| 7.6.3      | 概念到语音转换系统 .....      | 205        |
| 7.7        | 听觉场景分析 .....         | 209        |
| 7.7.1      | 初级分析 .....           | 209        |
| 7.7.2      | 以图式为基础的知觉组织 .....    | 211        |
| 7.7.3      | 初级分析与图式加工之间的关系 ..... | 211        |
| 7.7.4      | 场景分析的总体评价 .....      | 212        |
| 7.8        | 言语行为 .....           | 213        |
| <b>第8章</b> | <b>语言 .....</b>      | <b>214</b> |
| 8.1        | 引言 .....             | 214        |
| 8.2        | 语言习得和发展 .....        | 216        |
| 8.3        | 语言处理模型 .....         | 217        |
| 8.4        | 语言认知 .....           | 220        |
| 8.4.1      | 句子加工中的概率和约束问题 .....  | 221        |
| 8.4.2      | 课文表征与记忆 .....        | 222        |
| 8.4.3      | 模块理论与语言加工 .....      | 222        |
| 8.4.4      | 语言理解中的压抑机制 .....     | 223        |
| 8.5        | 乔姆斯基的形式文法 .....      | 224        |
| 8.5.1      | 短语结构文法 .....         | 224        |
| 8.5.2      | 上下文有关文法 .....        | 225        |
| 8.5.3      | 上下文无关文法 .....        | 225        |
| 8.5.4      | 正则文法 .....           | 226        |
| 8.6        | 扩充转移网络 .....         | 228        |
| 8.7        | 概念依赖理论 .....         | 230        |
| 8.8        | 语言理解 .....           | 232        |
| 8.8.1      | 概述 .....             | 232        |
| 8.8.2      | 发展阶段 .....           | 234        |
| 8.8.3      | 基于规则的分析方法 .....      | 236        |
| 8.8.4      | 基于语料的统计模型 .....      | 239        |
| 8.8.5      | 机器学习方法 .....         | 241        |
| 8.9        | 脑语言功能区 .....         | 243        |
| 8.9.1      | 经典语言功能区 .....        | 243        |
| 8.9.2      | 语义相关功能区 .....        | 244        |
| 8.9.3      | 音韵相关功能区 .....        | 245        |
| 8.9.4      | 拼字相关功能区 .....        | 245        |
| 8.9.5      | 双语者脑语言功能区 .....      | 245        |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>第9章 学习</b>      | 246 |
| 9.1 概述             | 246 |
| 9.2 行为学习理论         | 247 |
| 9.2.1 条件反射学习理论     | 247 |
| 9.2.2 行为主义的学习理论    | 248 |
| 9.2.3 联结学习理论       | 248 |
| 9.2.4 操作学习理论       | 250 |
| 9.2.5 相近学习理论       | 252 |
| 9.2.6 需要消减理论       | 254 |
| 9.3 认知学习理论         | 257 |
| 9.3.1 格式塔学派的学习理论   | 258 |
| 9.3.2 认知目的理论       | 258 |
| 9.3.3 认知发现理论       | 259 |
| 9.3.4 认知同化理论       | 261 |
| 9.3.5 信息加工学习理论     | 262 |
| 9.3.6 建构主义的学习理论    | 265 |
| 9.4 人本学习理论         | 267 |
| 9.5 观察学习理论         | 268 |
| 9.6 内省学习           | 270 |
| 9.6.1 内省学习一般模型     | 271 |
| 9.6.2 内省学习的元推理     | 272 |
| 9.6.3 失败分类         | 273 |
| 9.6.4 内省过程中的基于范例推理 | 274 |
| 9.7 学习计算理论         | 274 |
| 9.7.1 哥尔德学习理论      | 275 |
| 9.7.2 模型推理系统       | 276 |
| 9.7.3 大概近似正确学习理论   | 276 |
| 9.8 粒计算            | 277 |
| 9.8.1 词计算理论        | 278 |
| 9.8.2 粗糙集理论        | 278 |
| 9.8.3 基于商空间的粒计算    | 278 |
| 9.8.4 相容粒度空间模型     | 278 |
| <b>第10章 记忆</b>     | 283 |
| 10.1 记忆过程          | 283 |
| 10.2 记忆系统          | 285 |
| 10.2.1 感觉记忆        | 286 |
| 10.2.2 短时记忆        | 286 |

|               |              |            |
|---------------|--------------|------------|
| 10.2.3        | 长时记忆         | 290        |
| 10.3          | 长时记忆理论       | 291        |
| 10.3.1        | 长时记忆的类型      | 291        |
| 10.3.2        | 长时记忆的模型      | 293        |
| 10.3.3        | 长时记忆的信息提取    | 298        |
| 10.4          | 工作记忆         | 300        |
| 10.4.1        | 工作记忆模型       | 300        |
| 10.4.2        | 工作记忆和推理      | 301        |
| 10.4.3        | 工作记忆的神经机制    | 302        |
| 10.5          | 遗忘理论         | 303        |
| 10.6          | 内隐记忆         | 306        |
| 10.7          | 记忆的生理机制      | 308        |
| 10.7.1        | 记忆痕迹         | 308        |
| 10.7.2        | 海马与杏仁体       | 309        |
| 10.7.3        | 记忆的存储过程      | 311        |
| 10.7.4        | 记忆的保存和增强     | 312        |
| <b>第 11 章</b> | <b>思维和决策</b> | <b>316</b> |
| 11.1          | 引言           | 316        |
| 11.2          | 思维的形态        | 320        |
| 11.2.1        | 抽象思维         | 321        |
| 11.2.2        | 形象思维         | 322        |
| 11.2.3        | 灵感思维         | 324        |
| 11.3          | 推理           | 327        |
| 11.3.1        | 演绎推理         | 327        |
| 11.3.2        | 归纳推理         | 328        |
| 11.3.3        | 反绎推理         | 330        |
| 11.3.4        | 类比推理         | 331        |
| 11.3.5        | 非单调推理        | 333        |
| 11.3.6        | 推理和脑         | 334        |
| 11.4          | 问题求解         | 334        |
| 11.4.1        | 问题空间         | 334        |
| 11.4.2        | 产生式系统        | 336        |
| 11.4.3        | 启发式搜索        | 338        |
| 11.4.4        | 手段目的分析法      | 339        |
| 11.4.5        | 解决问题的策略      | 341        |
| 11.5          | 科学发现         | 344        |
| 11.5.1        | 科学发现的基本观点    | 344        |
| 11.5.2        | 发现策略         | 348        |

|               |                    |            |
|---------------|--------------------|------------|
| 11.5.3        | 发现系统 BACON .....   | 351        |
| 11.6          | 创造性思维 .....        | 357        |
| 11.7          | 决策理论 .....         | 360        |
| 11.7.1        | 决策效用理论 .....       | 361        |
| 11.7.2        | 满意原则 .....         | 362        |
| 11.7.3        | 逐步消元法 .....        | 362        |
| 11.7.4        | 贝叶斯决策方法 .....      | 362        |
| 11.8          | 智能决策支持系统 .....     | 363        |
| 11.8.1        | 智能决策系统开发平台 .....   | 363        |
| 11.8.2        | 综合集成研讨厅 .....      | 365        |
| <b>第 12 章</b> | <b>智力发展 .....</b>  | <b>367</b> |
| 12.1          | 引言 .....           | 367        |
| 12.2          | 智力理论 .....         | 368        |
| 12.2.1        | 智力的因素论 .....       | 369        |
| 12.2.2        | 多元智力理论 .....       | 370        |
| 12.2.3        | 智力结构论 .....        | 370        |
| 12.3          | 智力的测量 .....        | 371        |
| 12.4          | 皮亚杰认知发展理论 .....    | 374        |
| 12.4.1        | 图式 .....           | 375        |
| 12.4.2        | 儿童智力发展阶段 .....     | 377        |
| 12.4.3        | 新皮亚杰主义 .....       | 383        |
| 12.5          | 智力发展的影响因素 .....    | 384        |
| 12.5.1        | 成熟因素 .....         | 384        |
| 12.5.2        | 经验因素 .....         | 385        |
| 12.5.3        | 社会环境因素 .....       | 386        |
| 12.5.4        | 平衡化因素 .....        | 386        |
| 12.6          | 智力发展的人工系统 .....    | 387        |
| <b>第 13 章</b> | <b>情绪与情感 .....</b> | <b>389</b> |
| 13.1          | 引言 .....           | 389        |
| 13.2          | 情绪的种类 .....        | 390        |
| 13.2.1        | 情绪的基本形式 .....      | 390        |
| 13.2.2        | 情绪状态 .....         | 391        |
| 13.2.3        | 情感的种类 .....        | 391        |
| 13.3          | 情绪的表达 .....        | 392        |
| 13.4          | 情绪理论 .....         | 393        |
| 13.4.1        | 詹姆斯-兰格情绪学说 .....   | 393        |
| 13.4.2        | 情绪评估-兴奋学说 .....    | 393        |



|               |               |            |
|---------------|---------------|------------|
| 13.4.3        | 情绪三因素说        | 394        |
| 13.4.4        | 基本情绪论         | 394        |
| 13.4.5        | 维度论           | 395        |
| 13.4.6        | 非线性动态策略       | 396        |
| 13.5          | 情绪加工          | 397        |
| 13.5.1        | 情绪语义网络理论      | 397        |
| 13.5.2        | 贝克的图式理论       | 398        |
| 13.5.3        | 威廉斯的情绪加工理论    | 398        |
| 13.6          | 情绪的功能         | 399        |
| 13.6.1        | 情绪的动机作用       | 399        |
| 13.6.2        | 情绪是心理活动的组织者   | 399        |
| 13.6.3        | 情绪的健康功能       | 400        |
| 13.6.4        | 情绪的信号功能       | 400        |
| 13.7          | 情感智能          | 400        |
| 13.8          | 情感计算          | 401        |
| 13.9          | 具有情感的机器人      | 406        |
| 13.10         | 情感与认知         | 407        |
| 13.10.1       | 情感优先假说        | 407        |
| 13.10.2       | 认知评价观点        | 407        |
| 13.10.3       | 图式命题联想和类比表征系统 | 408        |
| 13.10.4       | 情绪双回路理论       | 408        |
| <b>第 14 章</b> | <b>意识</b>     | <b>409</b> |
| 14.1          | 概述            | 409        |
| 14.2          | 意识的基本要素和特性    | 411        |
| 14.3          | 心理学的意识观       | 414        |
| 14.4          | 意识的剧场模型       | 415        |
| 14.5          | 意识的还原论理论      | 417        |
| 14.6          | 神经元群组选择理论     | 420        |
| 14.7          | 意识的量子理论       | 421        |
| 14.8          | 意识系统模型        | 423        |
| 14.9          | 显意识思维与潜意识思维   | 424        |
| 14.10         | 注意            | 428        |
| 14.10.1       | 注意的功能         | 428        |
| 14.10.2       | 选择性注意         | 431        |
| 14.10.3       | 注意分配          | 435        |
| 14.10.4       | 注意系统          | 435        |

**第 15 章 形式系统** ..... 437

15.1 概述..... 437

15.2 谓词演算..... 439

15.3 动态描述逻辑..... 444

15.3.1 描述逻辑..... 444

15.3.2 动态描述逻辑 DDL ..... 446

15.4 归纳逻辑..... 447

15.4.1 经验主义概率归纳逻辑..... 450

15.4.2 逻辑贝叶斯派..... 451

15.4.3 主观贝叶斯派..... 451

15.4.4 条件化归纳逻辑..... 452

15.4.5 非帕斯卡概率归纳逻辑..... 453

15.5 模型论..... 454

15.6 递归论..... 456

15.7 证明论..... 458

15.7.1 希尔伯特规划..... 459

15.7.2 受限的初等数论的无矛盾性..... 460

15.7.3 哥德尔的不完全性定理..... 460

15.8 机器定理证明..... 462

**第 16 章 脑机融合** ..... 466

16.1 概述..... 466

16.2 脑电信号分析..... 469

16.2.1 脑电信号分类..... 469

16.2.2 脑电信号分析方法..... 470

16.3 神经元集群的编码和解码..... 471

16.3.1 概述..... 471

16.3.2 熵编码理论..... 473

16.3.3 贝叶斯集群编码..... 476

16.3.4 贝叶斯集群解码..... 477

16.4 脑机接口系统..... 478

16.5 P300 脑机接口系统 ..... 479

16.5.1 系统构成..... 480

16.5.2 视觉诱发子系统..... 480

16.5.3 脑电采集子系统..... 481

16.5.4 脑电分析子系统..... 481

16.6 脑机协同的认知计算模型..... 482

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第 17 章 智能机器人</b>      | 485 |
| 17.1 概述                  | 485 |
| 17.2 智能机器人的体系结构          | 487 |
| 17.3 机器人视觉系统             | 492 |
| 17.3.1 视觉系统分类            | 493 |
| 17.3.2 定位技术              | 494 |
| 17.3.3 自主视觉导航            | 495 |
| 17.3.4 视觉伺服系统            | 495 |
| 17.4 机器人路径规划             | 496 |
| 17.4.1 全局路径规划            | 496 |
| 17.4.2 局部路径规划            | 497 |
| 17.5 细胞自动机               | 498 |
| 17.6 认知机模型               | 501 |
| 17.7 情感机器人               | 503 |
| 17.8 发育机器人               | 504 |
| 17.9 RoboCup 机器人足球比赛     | 508 |
| 17.10 智能机器人发展趋势          | 510 |
| <b>第 18 章 类脑智能机</b>      | 513 |
| 18.1 概述                  | 513 |
| 18.2 蓝脑计划                | 513 |
| 18.2.1 概述                | 513 |
| 18.2.2 大脑皮层模型            | 514 |
| 18.2.3 超级计算模拟            | 516 |
| 18.2.4 认知计算展望            | 519 |
| 18.3 人脑计划                | 519 |
| 18.3.1 欧盟未来技术与新兴技术旗舰研究计划 | 519 |
| 18.3.2 峰电位时序相关可塑性        | 520 |
| 18.3.3 统一脑模型             | 522 |
| 18.4 神经形态机               | 524 |
| 18.4.1 经典计算机的局限          | 524 |
| 18.4.2 类脑体系结构            | 525 |
| 18.4.3 脑模型               | 526 |
| 18.4.4 神经形态芯片            | 528 |
| 18.5 LIDA                | 529 |
| 18.5.1 全局工作空间理论          | 529 |
| 18.5.2 智能数据分析认知结构        | 530 |
| 18.5.3 LIDA 软件框架         | 532 |
| <b>参考文献</b>              | 534 |

Neumann)提出的存储程序概念。1946年,埃克特(J P Eckert)和莫奇利(J W Manochly)研制成功 ENIAC 电子数字计算机。1948年香农(C E Shannon)发表了《通信的数学理论》标志一门新学科——信息论的诞生,维纳(N Wiener)创立了控制论。

中国曾经发明了不少智能工具和机器。例如,算盘是应用广泛的古典计算机;水运仪象台是天文观测与星象分析仪器;候风地动仪是测报与显示地震的仪器。我们祖先提出的阴阳学说蕴涵着丰富的哲理,对现代逻辑的发展有重大影响。

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 E 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—梅隆大学纽厄尔(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,从不同的角度共同探讨人工智能的可能性。麦卡锡(John McCarthy)在他的 *Proposal for the Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence* 中首先引入了人工智能(artificial intelligence, AI)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。”

1958年纽厄尔和西蒙大胆地预言:

- (1) 十年内,计算机将成为世界象棋冠军。
- (2) 十年内,计算机将发现或证明有意义的数学定理。
- (3) 十年内,计算机将能谱写优美的乐曲。
- (4) 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,激励后人不断深入研究,在 50 多年的时间里取得了许多令人鼓舞的进展。1956年纽厄尔、西蒙等人合作编制的《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。经过反复的实验,纽厄尔和西蒙进一步认识到,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。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 程序在一部更大的计算机上,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,纽厄尔和西蒙把 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类型不同问题的“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。在纽厄尔和西蒙之后,美籍华人学者、洛克菲勒大学教授王浩在“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,统统证明了一遍。该书作者、数学大师罗素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十年的时间用手算来证明这些定理之前,就知道有这种可能。”王浩教授因此被国际上公认为机器定理证明的开拓者之一。人工智能学者提出的启发式搜索、非单调逻辑丰富了问题求解的方法。各种机器学习、知识发现的方法和算法推动智

能系统的发展,取得实际效益。

模式识别是 30 多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,哪怕你把字写得龙飞凤舞,哪怕你把话说得含糊不清,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,计算机储存的模板库或样本库,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。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 智能科学的兴起

人工智能研究的目标是实现人类水平的人工智能,要让计算机具有人类那种听、说、读、写、思考、学习、适应环境变化、解决各种实际问题等能力。1977 年,曾是西蒙研究生的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。

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 月在日本东京召开了第五代计算机——智能计算机研讨会,东京大学元冈达教授提出了“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十年计划,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、夏普等八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”苦苦奋战了将近十年,他们几乎没有回过家,长年整天穿梭于实验室与公寓之间,近乎玩命式的拼搏。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”计划实施整整十年之际,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”研究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)在专辑文章中提出了人工智能的五个基本

问题<sup>[360]</sup>：

- (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,而不同的观点则成为人工智能不同学派的标识。要回答这些问题,必须开展智能科学的基础理论研究。为了推动智能科学的研究和交流,2002年建立了智能科学网站:<http://www.intsci.ac.cn/>。

2003年,文献[884]提出智能科学研究智能的基本理论和实现技术,是由脑科学、认知科学、人工智能等学科构成的交叉学科。脑科学从分子水平、细胞水平、行为水平研究人脑智能机理,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。三门学科共同研究,探索智能科学的新概念、新理论、新方法,必将在21世纪共创辉煌。

2004年,霍金斯(J Hawkins)发表了《论智能》一书<sup>[303]</sup>。霍金斯(J Hawkins)相信智能是大量群集的神经元涌现的行为,用基于记忆的世界模式产生连续不断的对未来事件的一系列预测。他认为时间是大脑做什么和怎样做至关重要的部分。他相信大脑的行为有三个至关重要的组成:大脑工作于输入的时间序列流,涉及许多的反馈(有证据表明神经网络以这种方式在大脑中构成),真实网络的层次结构所具有的模式,看起来对它们的功能十分重要。

大脑本质上是独立于肢体和感觉的智能设备,是通过感觉觉察并且思考外部世界的唯一途径,大脑的每一个部分都不断地传递着对外部世界实时度量的相关模式。我们考虑视觉、听觉还有触觉,它们是十分不同的,但是都将表达的模式序列传送到我们的大脑。人类是千百万年来进化的产物,使我们的大脑和感觉以及运动控制紧紧结合为一体。

霍金斯提到了凯勒(Helen Keller)这个例子。尽管她又聋又瞎,但是她学会了语言并且成为一名优秀的作家。是的,我们的大脑利用拍电报的方式帮助我们产生经由视觉和听觉等传感器传输到大脑的感觉。但是智能很明显地可以在没有那些感觉的情况下产生<sup>[154]</sup>。

霍金斯建议把神经皮层的神经网络当作分布式存储的模式序列,以不变的形式联想访问和存储,并且分层次地进行安排。这种模型可以帮助我们解释为什么那么多聪明的人都会按照类似的思维模式进行思考:他们可以看到,在看起来完全不同的事务底下的模式。当他们在无意识的情况下进行关联检索的时候,有许多表面上看来令人非常吃惊的相关性。按照霍金斯的预料,这些人可能存储了专一的不变的概念表达方式,并在必要的时候采用它形成大量的令人震惊的引人注目的想法。我们经常感觉到,只有少数的想法是计算机学科独一无二的。例如,我们现在学习的大部分仅仅是已经储存在我们脑海中那些概念的新名词,只是我们是否把它们联系起来。

人脑是世界上最复杂的物质,它是人类智能与高级精神活动的生理基础。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