



智能

科/学/技/术/著/作/丛/书

计算智能理论与方法

张雷 范波 编著



科学出版社

013031594

TP183
123

智能科学技术著作丛书

计算智能理论与方法

张 雷 范 波 编著



科学出版社

北 京

TP183
123



北航

C1636430

013031284

内 容 简 介

计算智能是借助现代计算工具通过模拟人的智能来求解问题(或处理信息)的理论与方法,它是人工智能的深化与发展,也是当前人工智能技术的重要组成部分。计算智能的理论和方法是信息科学、生命科学、认知科学等不同学科相互交叉、相互渗透、相互促进而产生的一门新的学科。本书的主要内容包括进化计算方法及其应用、人工免疫系统和算法、人工神经网络及其实施过程、模糊逻辑系统及其具体应用。

本书可作为计算机科学、自动控制、工业自动化、电气工程及其自动化、应用数学等专业的高年级本科生和研究生的参考教材,也可供上述专业和相关法律法规的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算智能理论与方法/张雷,范波编著. —北京:科学出版社,2013.3
(智能科学技术著作丛书)
ISBN 978-7-03-036772-3

I. ①计… II. ①张… ②范… III. ①人工神经网络-计算 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 036349 号

责任编辑:张海娜 于 红 / 责任校对:张怡君
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 3 月第一次印刷 印张:17 1/4

字数:329 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副 主 编：钟义信 史忠植 何华灿 何新贵 李德毅 蔡自兴 孙增圻
谭 民 韩力群 黄河燕

秘 书 长：黄河燕

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科学技术大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京邮电大学）

韩力群（北京工商大学）

何华灿（西北工业大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

何新贵（北京大学）

黄河燕（北京理工大学）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

李德毅（中国人民解放军总参谋部第六十一研究所）

李祖枢（重庆大学）

刘 宏（北京大学）

刘 清（南昌大学）

秦世引（北京航空航天大学）

邱玉辉（西南师范大学）

阮秋琦（北京交通大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所）

孙增圻（清华大学）

谭 民（中国科学院自动化研究所）

谭铁牛（中国科学院自动化研究所）

涂序彦（北京科技大学）

王国胤（重庆邮电学院）

王家钦（清华大学）

王万森（首都师范大学）

吴文俊（中国科学院数学与系统科学研究院）

杨义先（北京邮电大学）

于洪珍（中国矿业大学）

张琴珠（华东师范大学）

赵沁平（北京航空航天大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶,“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章,“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science&technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, NI),包括“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。
- “人工智能”(artificial intelligence, AI),包括“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。
- “集成智能”(integrated intelligence, II),即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。
- “协同智能”(cooperative intelligence, CI),指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。
- “分布智能”(distributed intelligence, DI),如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

“人工智能”学科自 1956 年诞生的五十余年来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981 年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)正式成立,25 年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向 and 显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。需要强调的是,这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版,特赋贺诗一首:

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

计算智能,也被称为“软计算”(soft computing, SC),是当前人工智能技术的重要组成部分,它是 20 世纪 90 年代初期在向传统的人工智能挑战过程中所提出的研究和模拟人类思维或生物的自适应、自组织能力,以实现计算技术的智能性的一门新学科。计算智能是借助现代计算工具模拟人的智能求解问题(或处理信息)的理论与方法,是人工智能的深化与发展。如果说人工智能以知识库(专家规则库)为基础,以顺序离散符号推理为特征,那么计算智能则是以模型(计算模型、数学模型)为基础,以分布、并行计算为特征,即人工智能主要利用符号信息和知识,而计算智能则是利用数值信息和知识;人工智能技术强调规则的作用与形成,而计算智能技术则强调模型的建立与构成;人工智能技术要依赖专家的个人知识,而计算智能技术则强调自组织、自学习与自适应。计算智能技术具有自适应、容错、较高的计算速度以及处理包含噪声信息等特点和优势。

目前,计算智能的技术主要有进化计算(evolutionary computation, EC)、人工神经网络(artificial neural network, ANN)、模糊逻辑和模糊系统(fuzzy system, FS)、人工免疫系统(artificial immune system, AIS)、粒子群智能、混沌系统(chaotic systems)、概率推理(probabilistic reasoning, PR)等。计算智能技术的发展和成熟促进了基于计算和基于物理符号相结合的各种智能理论、模型和方法的综合集成,使之能够成为解决更为复杂系统和问题的新的智能技术。各种计算智能技术自从诞生以来,虽然发展历史只有短短几十年甚至更短的时间,但是却取得了飞速的发展,其应用领域几乎遍及各个工程技术领域。

本书共 10 章。第 1 章介绍计算智能技术的基本概念、计算智能技术的产生和发展历史,以及计算智能技术和方法的典型应用领域。第 2 章从整体上介绍模拟进化计算技术的基本概念和发展过程,并且归纳出进化计算方法在应用中的一般框架结构。第 3 章主要介绍遗传算法(genetic algorithm, GA)的基本概念、理论基础、基本遗传操作和具体的应用。遗传算法是应用最为广泛的进化计算方法,它具有通用、并行、稳健等许多较为突出的优点,适用于解决各种复杂的全局搜索和优化问题。第 4 章主要介绍进化规划的工作过程、特点以及具体应用。进化规划和遗传算法是进化计算中两种最为常用的算法,它们之间既有联系也有区别。进化规划是从整体的角度来模拟生物的进化过程,它强调的是整个种群的进化。从进化计算的本质和主要特点上看,只要是模拟生物进化机制和规律的算法都可称为仿生模拟进化计算方法。第 5 章主要针对模拟进化计算方法中其余几种常用方法,包括进化策略(evolution strategies, ES)、遗传编程(genetic

programming, GP) 和粒子群优化算法 (particle swarm optimization, PSO) 进行介绍和探讨。第 6 章首先介绍生物免疫系统的主要原理和功能, 以及生物免疫系统可被借鉴的相关原理, 然后介绍典型的人工免疫系统和算法。人工免疫系统已经成为继神经网络、模糊逻辑和进化计算后人工智能的又一研究热点, 其研究和应用领域涉及控制、数据分析和处理、优化学习、异常检测和故障诊断、信息安全等许多领域, 并且显示出强大的信息处理能力和优势。第 7 章首先介绍人工神经网络的基本概念、工作原理和学习方法, 然后介绍几种典型的人工神经网络模型和具体应用。第 8 章主要介绍模糊逻辑理论和模糊推理的基本概念和方法, 还介绍模糊理论在自动控制系统中的应用, 并针对一个具体实例说明如何利用模糊理论来设计模糊自适应 PID 控制器。第 9 章则介绍基于进化计算的模糊系统设计方法。遗传模糊系统是一种基于遗传算法学习和优化过程的模糊系统, 它集成了计算智能方法中的两个重要分支即模糊系统和进化计算, 是当前计算智能领域中的一个重要研究方向, 并在航空航天系统、通信系统、电力系统、网络安全和决策支持系统等众多领域中得到了成功的应用。本书的第 10 章介绍和探讨计算智能技术和方法的性能评价问题。在第 2~8 章中, 我们分别讨论计算智能方法中的模拟进化计算、模糊逻辑系统、人工神经网络以及人工免疫算法和系统的工作原理、实施细节以及各自的优点和不足。在实际中还需要对这些计算智能方法进行性能评测, 对不同的计算智能方法的性能进行定量分析和计算, 并与其他方法进行性能比较。第 10 章所要讨论的性能评测问题包括针对某个具体问题如何与其他常用方法进行性能比较。由于不同类型的方法往往差异很大, 如何选择评价标准或准则, 如何选择合理的进行评价的前提条件, 以及如何针对实验结果进行分析和比较, 都是较为关键的问题。

作为一门新兴的交叉学科, 计算智能技术和方法的发展和成熟必将极大地推动人工智能技术的进步和发展。目前, 一方面, 各种计算智能技术和方法在各自独立地进行深入研究和发 展, 并且不断涌现出新的应用研究和理论研究成果; 另一方面, 计算智能技术的不同方法之间以及计算智能技术与其他方法之间不断地进行相互融合和应用, 并获得了许多更为有效的解决复杂问题的思路和方法。

本书内容全面, 重点突出, 主要阐述计算智能技术和方法的基本概念和方法, 尽量避免烦琐的数学推导和理论证明, 但对于一些重要的原理以及新提出的理论则给出较为详细的证明过程。

由于作者的知识 和水平有限, 书中不妥之处在所难免, 欢迎广大读者提出宝贵意见。

编著者

2012 年 11 月

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 计算智能的概念	1
1.2 计算智能技术的产生和发展过程	2
1.3 计算智能技术的主要应用领域	6
1.4 本书的结构和内容安排	8
参考文献	10
第 2 章 进化计算的概念和范例	13
2.1 概述	13
2.2 模拟进化计算方法的生物学基础	14
2.2.1 遗传变异理论	14
2.2.2 生物进化论	16
2.3 模拟进化计算方法的发展历史	18
2.3.1 萌芽期	18
2.3.2 成长期	18
2.3.3 发展期	19
2.4 模拟进化计算方法的一般框架结构	20
2.5 模拟进化计算方法的典型应用领域	24
2.6 总结	26
参考文献	27
第 3 章 遗传算法	29
3.1 遗传算法概述	29
3.1.1 遗传算法的发展历史	30
3.1.2 遗传算法的特点	31
3.2 遗传算法的理论基础	32
3.2.1 模式的概念	33
3.2.2 模式定理	34
3.2.3 积木块假说	37
3.2.4 隐含并行性	37

3.3 基本遗传算法及其改进算法	39
3.3.1 基本概念	39
3.3.2 遗传操作	40
3.3.3 基本遗传算法	41
3.3.4 改进的遗传算法	43
3.4 遗传算法的具体应用	50
3.4.1 遗传算法在组合优化中的应用	51
3.4.2 遗传算法在数据挖掘中的应用	54
3.5 总结	57
参考文献	58
第4章 进化规划	60
4.1 概述	60
4.2 进化规划算法的工作过程	61
4.2.1 实施步骤	62
4.2.2 算法实施中的具体操作	63
4.3 进化规划算法的特点和优势	66
4.3.1 进化规划算法的典型特点	66
4.3.2 遗传算法和进化规划算法的比较	66
4.4 进化规划算法的具体应用	68
4.4.1 基于有限状态机的预测	69
4.4.2 基于进化规划算法的多模态函数优化	75
4.5 总结	79
参考文献	80
第5章 其他模拟进化计算技术	82
5.1 进化策略	83
5.1.1 进化策略的表示形式	84
5.1.2 进化策略的实施步骤	86
5.1.3 进化策略与进化规划的异同	86
5.1.4 进化策略实施中的关键问题	87
5.2 遗传编程	90
5.2.1 概述	91
5.2.2 遗传编程的实施步骤	91
5.2.3 遗传编程算法的特点	95
5.3 粒子群优化算法	95
5.3.1 概述	95

5.3.2 粒子群优化算法的基本原理	98
5.3.3 粒子群优化算法的步骤	99
5.3.4 粒子群优化算法的特点	101
5.4 总结	101
参考文献	104
第6章 人工免疫系统及算法	106
6.1 生物免疫系统简介	107
6.1.1 生物免疫系统的组成	108
6.1.2 生物免疫系统的主要功能	108
6.2 免疫系统可被借鉴的相关理论	109
6.2.1 生物免疫系统的主要原理和机制	109
6.2.2 生物免疫系统的信息处理特性	111
6.3 人工免疫系统的模型及算法	112
6.3.1 人工免疫网络	113
6.3.2 负选择算法	114
6.3.3 克隆选择算法	114
6.3.4 总结	115
6.4 人工免疫系统的应用	116
6.4.1 聚类分析	118
6.4.2 其他应用领域	130
6.5 人工免疫系统的发展展望	131
参考文献	133
第7章 人工神经网络	136
7.1 神经网络概述	137
7.1.1 生物神经元和生物神经网络	138
7.1.2 人工神经网络的发展过程	140
7.1.3 人工神经网络的学习方法	142
7.2 感知器和前向神经网络	145
7.2.1 感知器	146
7.2.2 BP神经网络	150
7.2.3 总结	156
7.3 径向基函数网络	157
7.3.1 RBF神经网络模型	158
7.3.2 RBF神经网络的数学基础	159
7.3.3 RBF神经网络的应用	164

7.4 反馈型神经网络	167
7.4.1 离散型 Hopfield 神经网络	167
7.4.2 连续型 Hopfield 神经网络	172
7.5 小脑模型神经网络	176
7.5.1 CMAC 神经网络模型及工作原理	176
7.5.2 CMAC 神经网络的学习算法	178
7.6 自组织神经网络	180
7.6.1 自适应共振理论神经网络	180
7.6.2 自组织特征映射网络	185
7.7 总结	189
参考文献	190
第 8 章 模糊逻辑理论与系统	192
8.1 模糊理论概述	192
8.1.1 模糊现象与模糊概念	192
8.1.2 模糊数学与模糊理论	193
8.1.3 模糊理论的发展和应用	194
8.2 模糊集合及其运算	195
8.2.1 模糊集合的定义	195
8.2.2 模糊集合的运算	197
8.3 模糊逻辑和模糊推理	199
8.3.1 模糊关系	199
8.3.2 模糊关系的运算	200
8.3.3 模糊逻辑	201
8.3.4 模糊推理	203
8.4 模糊系统在自动控制系统中的应用	208
8.4.1 模糊控制器与模糊控制系统	208
8.4.2 模糊控制系统的工作原理	210
8.4.3 模糊控制系统设计的关键问题	212
8.4.4 模糊自适应 PID 控制器的设计	212
8.5 总结	218
参考文献	219
第 9 章 基于进化计算的模糊系统设计	221
9.1 基于模糊规则的模糊系统	221
9.1.1 概述	221
9.1.2 基于模糊规则系统设计	222

9.2 遗传模糊系统	223
9.2.1 概述	224
9.2.2 实施步骤	226
9.2.3 研究现状	227
9.3 基于遗传算法的模糊控制器的设计方法	228
9.3.1 基于遗传算法的模糊控制器设计概述	228
9.3.2 遗传模糊控制系统的总体设计方案	229
9.3.3 基于遗传算法来确定模糊控制规则	232
9.3.4 应用实例	241
9.3.5 结论	244
9.4 总结	244
参考文献	245
第 10 章 计算智能方法的性能评价	247
10.1 通用事项	247
10.1.1 选择金标准	248
10.1.2 训练数据集和测试数据集的划分	249
10.1.3 显著性差异	249
10.1.4 交叉验证	251
10.1.5 适应度	251
10.2 准确率	252
10.3 误差评价性能指标	253
10.3.1 平均平方误差	253
10.3.2 绝对误差	255
10.3.3 归一化误差	255
10.4 接受者操作特征曲线	256
10.5 召回率和精确率	258
10.6 总结	259
参考文献	260

第 1 章 绪 论

1.1 计算智能的概念

计算智能属于智能的范畴。那么什么是智能(intelligence)呢?一般认为,从感觉到记忆到思维这一过程,称为“智慧”,智慧的结果就产生了行为和语言,而将行为和语言进行表达的过程则称为“能力”,两者的合称就是“智能”。《牛津大辞典》中智能的定义是“观察、学习、理解和认识的能力”,而在《韦氏大辞典》中,智能则被定义为“理解和各种适应性行为的能力”。概括起来讲,智能是指个体有目的的行为、合理的思维以及有效地适应环境的综合性能力。智能的核心在于知识,包括感性知识与理性知识,先验知识与理论知识,因此智能也可表达为知识获取能力、知识处理能力和知识适用能力。

智能及智能的本质是古今中外许多哲学家和脑科学家一直在努力探索和研究的课题,但至今仍然没有被人类所解决和掌握。因而智能的发生与物质的本质、宇宙的起源、生命的本质一起被列为自然界四大奥秘。

就目前所知,人类智能是所有生物智能中最高级的智能。可以肯定的是,人类智能的表现与人类大脑和整个神经系统的内部结构和功能原理有着密不可分的关系。人类智能的核心是思维,而思维的器官就是人类大脑。可以这样理解,当给定某个任务或目的,能根据环境条件而制定正确的策略和决策,并能有效地实现其目的的过程或能力就称为智能。智能的主要体现就是能够进行智能信息处理,在信息处理过程中所利用的智能手段包括人工智能、计算智能等。

计算智能是借助现代计算工具模拟人的智能求解问题(或处理信息)的理论与方法,它是人工智能的深化与发展。如果说人工智能是以知识库(专家规则库)为基础、以顺序离散符号推理为特征的,计算智能则是以模型(计算模型、数学模型)为基础,以分布、并行计算为特征,即人工智能主要利用符号信息和知识,而计算智能则是利用了数值信息和知识;人工智能技术强调规则的作用与形成,而计算智能技术则强调模型的建立与构成;人工智能技术要依赖专家的个人知识,而计算智能技术则强调自组织、自学习与自适应。计算智能技术具有自适应、容错、较高的计算速度以及处理包含噪声信息等特点和优势。

计算智能,也被称为“软计算”,是当前人工智能技术的重要组成部分,它是 20 世纪 90 年代初期在向传统的人工智能挑战过程中所提出的研究和模拟人类思维

或生物的自适应、自组织能力,以实现计算技术的智能性的一门新学科^[1]。模糊逻辑和模糊推理理论的创始人 Zadeh 提出了“软计算”的概念,并且指出了其关键技术和应用领域^[2,3]。计算智能模拟人的智能通常基于不同的观点与角度,如从模拟智能生成的观点(模拟进化计算),从模拟智能产生与作用赖以存在的结构(人工神经网络理论)角度,从智能的表现行为角度(模糊逻辑与模糊推理)等。虽然人们目前对计算智能的定义还没有达成一致,但是却对计算智能技术中所包含的常用技术和方法有着相同的看法。目前计算智能的技术主要有进化计算、人工神经网络、模糊逻辑和模糊系统、人工免疫系统、粒子群智能、混沌系统、概率推理等^[4-12]。在这些技术和方法中,除了模糊系统之外,其他方法均能够自动地由给出的数据集来获得和整合知识,并且可应用于有监督和无监督两种学习方式。在有监督和无监督这两种学习方式中,在训练阶段是利用给出数据来构建数据驱动模型,而在测试阶段则是利用新的数据来验证和评价所获得系统的性能。

计算智能技术的发展和成熟促进了基于计算和基于物理符号相结合的各种智能理论、模型和方法的综合集成,使之能够成为解决更为复杂系统和问题的新的智能技术。各种计算智能技术自从诞生以来,虽然发展历史只有短短几十年甚至更短的时间,但是却取得了飞速的发展,其应用领域几乎遍及各个工程技术领域。作为一门新兴的交叉学科,计算智能技术和方法的发展和成熟必将极大地推动人工智能技术的进步和发展。目前,一方面各种计算智能技术和方法在各自独立地进行深入研究和发展的同时,并且不断涌现出新的应用研究和理论研究成果;另一方面,计算智能技术的不同方法之间以及计算智能技术与其他方法之间不断地进行相互融合和应用,并获得了许多更为有效的解决复杂问题的思路和方法。

1.2 计算智能技术的产生和发展过程

计算智能技术是在传统的人工智能技术基础上发展起来的新技术,属于传统人工智能技术的延伸和扩展。人工智能技术是采用人工的方法利用计算机来实现的智能技术,有时也被称为机器智能。计算智能则是信息科学、生命科学、认知科学等不同学科相互交叉、相互渗透以及相互促进的产物,其主要借鉴生物体的智能行为和机理,采用数值计算的方法去模拟和实现生物智能。如果某个智能系统仅处理数值数据,而没有使用传统人工智能意义上的知识,并且具有计算自适应性、计算容错能力、接近于人的运算速度以及近似于人的误差率这几种特性,则称该系统就被视为是一种计算智能系统。

计算智能主要涉及人工神经网络、模糊逻辑、进化计算和人工生命(artificial life)等研究领域^[2-11],其广泛研究和快速发展反映了当代科学技术多学科交叉与

集成的重要发展趋势^[13-17]。在介绍计算智能的发展历史之前,首先简要回顾一下人工智能的发展过程。从1956年正式提出人工智能学科算起,人工智能迄今已有60多年的发展历史。在其发展过程中,不同专业背景的研究人员分别提出了不同的观点,并从不同的方法和角度进行研究,由此产生了不同的学术派别,其中主要包括符号主义(symbolicism)、联结主义(connectionism)和行为主义(actionism)三大学派。

1) 符号主义

符号主义,又称为逻辑主义(logicism)、心理学派(psychlogism)或计算机学派(computerism),其原理主要为物理符号系统(即符号操作系统)假设和有限合理性原理。符号主义认为人工智能源于数理逻辑。计算机出现后,在计算机上实现了逻辑演绎系统。其有代表性的成果为启发式程序LT逻辑理论家,证明了38条数学定理,表明可以应用计算机研究人的思维过程,模拟人类智能活动。正是这些符号主义者,早在1956年首先采用“人工智能”这个术语,后来又发展了启发式算法→专家系统→知识工程理论与技术,并在20世纪80年代取得很大发展。符号主义曾长期一枝独秀,为人工智能的发展做出重要贡献,尤其是专家系统的成功开发与应用,对人工智能走向工程应用和实现理论联系实际具有特别重要的意义。

2) 连接主义

连接主义,又称为仿生学派(bionicsism)或生理学派(physiologism),其原理主要为神经网络及神经网络间的连接机制与学习算法。连接主义认为人工智能源于仿生学,特别是人脑模型的研究。它的代表性成果是1943年由生理学家麦卡洛克(McCulloch)和数理逻辑学家皮茨(Pitts)创立的脑模型,即MP模型,开创了用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径。它从神经元开始进而研究神经网络模型和脑模型,开辟了人工智能的又一发展道路。20世纪60~70年代,连接主义,尤其是对以感知机(perceptron)为代表的脑模型的研究曾出现过热潮,直到Hopfield教授在1982年和1984年提出用硬件模拟神经网络时,连接主义又重新抬头。1986年,鲁梅尔哈特(Rumelhart)等提出多层网络中的反向传播(BP)算法。此后,连接主义势头大振,从模型到算法,从理论分析到工程实现,为神经网络计算机走向市场打下基础。

3) 行为主义

行为主义,又称进化主义(evolutionism)或控制论学派(cyberneticsism),其原理为控制论及感知-动作型控制系统。行为主义认为人工智能源于控制论。控制论思想早在20世纪40~50年代就成为时代思潮的重要部分,影响了早期的人工智能工作者。维纳和麦克洛等提出的控制论和自组织系统影响了许多领域。控制论的早期研究重点是模拟人在控制过程中的智能行为和作用,如对自寻优、自适应、自校正、自镇定、自组织和自学习等控制论系统的研究,并进行“控制论动物”

的研制。到 20 世纪 60~70 年代,上述这些控制论系统的研究取得一定进展,播下智能控制和智能机器人的种子,并在 80 年代诞生了智能控制和智能机器人系统。

人工智能的研究,已从当初一枝独秀的符号主义发展到多学派共存的局面,它们的目标都是相同的,即研究如何通过人工的方法模拟人的智能,实现机器智能。以上三个人工智能学派将长期共存与合作,取长补短,并逐渐走向融合和集成,为人工智能的发展做出新的贡献,也将对人类的未来产生深远的影响。

虽然人类智能和人工智能有着许多的共性,但是它们之间也存在着较大的差异。

1) 逻辑与非逻辑思维的差异

人类智能具有逻辑思维能力,同时也具有非逻辑思维能力,但是人工智能则能够通过逻辑思维及推理来实现其智能。例如,人类在解决许多实际问题时,并没有通过逻辑思维的方式来直接获得问题的解,有时人们称之为直觉或者急中生智等。

2) 计算与非计算的差异

人类的智能同样也是信息处理的过程,只是该过程并不一定是通过计算来实现的,计算只是其中的一个部分。但是人工智能却离不开计算过程,包括算术运算和逻辑运算。这是因为人工智能离不开计算机,而计算机的每次信息处理都需要经过数学或逻辑运算,并且对于某些信息处理过程还涉及问题的数学建模,因而人工智能的信息处理周期相对就较长。

3) 递归运算和非递归运算的差异

即使对于智能中的运算能力而言,对于人类目前许多的数学和逻辑的运算方法,人工智能也有许多不能进行操作或者有效操作。特别是对于非递归运算,人工智能在此领域获得突破的可能性仍然不大。在目前所提出的各种人工智能方法中,基本上还没有涉及非递归运算。

4) 语法和语义的差异

通过对人类自然语言和计算机编程语言进行对比可以发现,人类语言要复杂和丰富得多,这既体现在语法上也体现在具体的语义上。但是我们知道,人类的高级智能是建立在语言和文字的基础上的,没有语言也就没有今天人类的智能。由于计算机的语义理解能力非常低,而对于各种抽象词汇的理解能力则更加困难。因而有人指出“计算机只有语法,没有语义”,这样的结论虽然过于绝对,但是它也从一方面反映了利用计算机程序来实现人工智能的难点和瓶颈问题。

计算智能技术则是传统人工智能技术的延伸和扩展。计算智能始于 20 世纪 80 年代,是以数字形式表达和模拟智能行为的一门交叉学科。计算智能常用的定义有以下两种^[1,2]。

定义 1.1 计算智能以数据为基础,以计算为手段来建立功能上的联系(模