

Principle and Application of Intelligent Information
Processing Technology

智能信息处理技术原理与应用

蒋海峰 王宝华 编著

清华大学出版社

Principle and Application of Intelligent Information Processing Technology

智能信息处理技术 原理与应用

蒋海峰 王宝华 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

计算智能是智能信息处理技术的核心,是目前多学科研究的热点。本书包括6章:绪论、神经计算、进化计算、模糊计算、数据融合以及常见的智能优化算法。具体内容包括智能信息处理技术产生与发展、计算智能特点与研究方向;神经网络理论基础、神经计算的基本方法、神经计算的实现技术;遗传算法、进化规划、进化策略;模糊逻辑、模糊推理、模糊计算的应用;数据融合的基本概念、结构形式、主要技术与应用;常见智能优化算法的原理、特点和实现技术。

本书可作为自动化、电气工程、信息通信、计算机科学、电子科学、人工智能、系统工程等专业的研究生或高年级本科生的教材和参考书,也可供相关领域的工程技术和科技工作者参考。

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

智能信息处理技术原理与应用/蒋海峰,王宝华编著. —北京:清华大学出版社,2019
ISBN 978-7-302-53022-0

I. ①智… II. ①蒋… ②王… III. ①人工智能—信息处理—高等学校—教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第093913号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

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

印 装 者:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17.25

字 数:417千字

版 次:2019年6月第1版

印 次:2019年6月第1次印刷

定 价:49.80元

产品编号:069458-01

前言

FOREWORD

随着社会的进步,在科学研究和工程实践中遇到的问题正变得越来越复杂,采用传统的信息处理方法来解决这些问题面临着计算复杂度高、计算时间长等问题,传统算法根本无法在可以接受的时间内求出精确解。因此,为了在求解时间和求解精度上取得平衡,科研工作者们提出了很多具有启发式特征的计算智能算法。这些算法通过模拟大自然和人类的智慧实现对问题的优化求解,即在可接受的时间内求解出可以接受的解。

计算智能是智能信息处理的核心技术,作为一门新兴的交叉学科,与人工智能、生命科学、自动控制、计算机科学、应用数学、生物工程、系统工程等有着密切的联系。计算智能因其智能性、并行性和健壮性,具有很好的自适应能力和很强的全局搜索能力,得到了众多研究者的广泛关注,目前已经在算法理论和算法性能方面取得了很多突破性的成果,在科学研究和生产实践中发挥了重要的作用。

本书内容包括神经计算、进化计算、模糊计算、数据融合、禁忌搜索算法、模拟退火算法、蚁群算法以及粒子群优化算法等内容以及相关技术的应用实例。本书共分为6章。第1章是智能信息处理技术绪论,主要介绍智能信息处理技术的产生与发展、人工智能与计算智能的特点与发展历程以及计算智能技术的集成;第2章是神经计算,主要介绍前馈型神经网络、反馈型神经网络、RBF神经网络、自组织神经网络以及模糊神经网络等方法的基本原理与相关应用实例;第3章是进化计算,主要介绍进化计算的一般框架与特点、遗传算法、进化规划、进化策略等内容与相关实例;第4章是模糊计算,主要介绍知识表示和推理、模糊理论、模糊集合、模糊关系以及模糊信息处理等内容与应用实例;第5章是数据融合,主要介绍数据融合基本概念、数据融合主要技术、数据融合主要结构、数据融合关联技术以及卡尔曼滤波等内容和应用实例;第6章是常见的智能优化算法,主要介绍禁忌搜索算法、模拟退火算法、蚁群算法以及粒子群优化算法等方法的原理与应用实例。

本书由蒋海峰、王宝华编著。课题组的张曼、王冰冰、李铭等参与了本书部分章节内容的编写、图表的绘制、文字段落的排版以及对书中实例进行验证等工作,邱蕴锋、王振益、邹德龙等参与了前期讨论以及提纲制定,对他们的付出与努力表示感谢。此外,本书参考和引用了一些论文和书籍资料,在此向相关作者一并表示感谢。

智能信息处理技术是一门新兴交叉技术,许多理论方法和技术问题仍需进一步研究与完善。限于作者对智能信息处理技术的认识水平,书中难免存在缺点与不足,希望得到广大读者的批评指正。

作者

2019年1月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 智能信息处理概述	1
1.1.1 智能信息处理的产生及发展	1
1.1.2 人工智能概述	2
1.1.3 AI 的发展	2
1.1.4 AI 主要的研究学派和研究方法	3
1.1.5 AI 研究内容和研究领域	4
1.1.6 计算智能的产生	5
1.2 计算智能信息处理的主要技术	5
1.2.1 模糊计算技术	5
1.2.2 神经计算技术	7
1.2.3 进化计算技术	7
1.3 计算智能技术的综合集成	9
1.3.1 模糊系统与神经网络的结合	9
1.3.2 神经网络与遗传算法的结合	9
1.3.3 模糊技术、神经网络和遗传算法的综合集成	9
习题	9
第 2 章 神经计算	10
2.1 概述	10
2.1.1 神经网络的定义	10
2.1.2 神经网络的发展历史	11
2.1.3 神经网络的特点	11
2.1.4 神经网络的应用	12
2.2 神经网络基本原理	12
2.2.1 神经元的基本构成	12
2.2.2 神经元的基本数学模型	13
2.2.3 基本激活函数	14
2.2.4 神经网络的拓扑结构	15

2.3	前馈型神经网络	18
2.3.1	感知器	18
2.3.2	BP神经网络	20
2.3.3	BP算法的若干改进	24
2.3.4	前馈型神经网络的应用	26
2.4	反馈型神经网络	29
2.4.1	Hopfield神经网络	29
2.4.2	BAM网络	36
2.4.3	Hamming网络	38
2.5	RBF神经网络	39
2.5.1	RBF神经网络的结构	39
2.5.2	RBF神经网络的训练	40
2.5.3	RBF神经网络在交通流预测中的应用	41
2.6	自组织神经网络	41
2.6.1	竞争学习	42
2.6.2	自组织特征映射神经网络	43
2.6.3	基于自适应谐振构成的自组织神经网络	47
2.7	神经网络和模糊系统	51
2.7.1	简述	51
2.7.2	神经网络和模糊系统的结合方式	54
2.7.3	模糊神经网络	55
2.7.4	模糊神经网络的应用	56
	习题	60
第3章	进化计算	61
3.1	进化计算的一般框架与共同特点	61
3.1.1	进化计算的一般框架	61
3.1.2	进化计算的共同特点	62
3.2	遗传算法基础	63
3.2.1	遗传算法的历史与发展	63
3.2.2	遗传算法的基本原理	64
3.2.3	遗传算法数学基础分析	66
3.3	遗传算法分析	69
3.3.1	遗传算法基本结构	69
3.3.2	基因操作	69
3.3.3	遗传算法参数选择	71
3.3.4	遗传算法的改进	71
3.3.5	遗传算法的基本实例	77

3.4	遗传算法在函数优化及 TSP 中的应用	80
3.4.1	一元函数优化实例	81
3.4.2	多元函数优化实例	91
3.4.3	TSP 问题的描述及优化意义	94
3.4.4	TSP 问题的遗传算法设计	95
3.5	进化规划	102
3.5.1	进化规划的起源与发展	102
3.5.2	进化规划的主要特点	102
3.5.3	进化规划中的算法分析	103
3.5.4	进化规划的应用	104
3.6	进化策略	105
3.6.1	进化策略的起源与发展	105
3.6.2	进化策略的主要特点	106
3.6.3	进化策略的不同形式及基本思想	106
3.6.4	进化策略的执行过程	107
	习题	109
第 4 章	模糊计算	110
4.1	知识表示和推理	110
4.1.1	知识与推理中的关系	110
4.1.2	产生式系统	111
4.2	模糊理论及三大基本元素	115
4.3	模糊集合的基本运算	123
4.4	模糊集合运算的基本规则	124
4.5	模糊关系	125
4.5.1	模糊关系与模糊关系矩阵	125
4.5.2	模糊关系矩阵的运算	126
4.5.3	λ 截矩阵- λ 水平截集	126
4.5.4	模糊关系的运算和性质	127
4.5.5	模糊逻辑推理及应用	128
4.6	模糊信息处理	140
4.6.1	模糊模式识别	140
4.6.2	模糊聚类分析	141
4.6.3	基于模糊等价关系的模式分类	143
4.6.4	基于模糊相似关系的模式分类	145
4.6.5	基于最大隶属原则的模式分类	148
4.6.6	基于择近原则的模式分类	149
	习题	150

第 5 章 数据融合	152
5.1 数据融合的基本概念	152
5.2 数据融合的传感器管理与数据库	155
5.2.1 传感器管理	155
5.2.2 态势数据库	155
5.3 数据融合方法	156
5.3.1 Bayes 估计方法	156
5.3.2 Dempster-Shafer 算法	159
5.4 数据融合系统结构形式及数据准备	162
5.4.1 数据融合系统结构形式	162
5.4.2 数据融合系统的功能模型	164
5.4.3 数据融合的层次	165
5.5 数据准备	167
5.5.1 融合中心数据处理的前提	167
5.5.2 数据的预处理	167
5.5.3 数据对准	169
5.6 数据关联技术	170
5.6.1 数据关联的目的	170
5.6.2 关联的基本思路	171
5.6.3 数据关联的主要形式	172
5.6.4 数据关联过程	173
5.7 状态估计——卡尔曼滤波	182
5.7.1 数字滤波器作估值器	183
5.7.2 线性均方估计	184
5.7.3 标量卡尔曼滤波器	186
5.7.4 向量卡尔曼滤波器	189
5.7.5 卡尔曼滤波器的应用	193
5.7.6 常系数 α - β 和 α - β - γ 滤波器	195
习题	199
第 6 章 常见的智能优化算法	200
6.1 智能优化算法的产生与发展	200
6.1.1 最优化问题及其分类	200
6.1.2 优化算法的分类	202
6.1.3 智能优化算法的产生与发展	203
6.2 禁忌搜索算法	204
6.2.1 基本禁忌搜索	205
6.2.2 禁忌搜索的关键要素	208

6.2.3	禁忌搜索的基本步骤与算法流程	212
6.2.4	禁忌搜索算法的改进	213
6.2.5	禁忌搜索算法在多用户检测中的应用	217
6.3	模拟退火算法	221
6.3.1	简述	222
6.3.2	模拟退火算法的收敛性	223
6.3.3	模拟退火算法的关键参数	227
6.3.4	模拟退火算法的改进与发展	229
6.3.5	模拟退火算法在成组技术中加工中心的组成问题中的应用	231
6.4	蚁群算法	233
6.4.1	蚁群算法的由来	233
6.4.2	基本蚁群算法	235
6.4.3	改进的蚁群算法	238
6.4.4	蚁群算法在机器人路径规划中的应用	243
6.5	粒子群优化算法	245
6.5.1	粒子群优化算法的基本原理	246
6.5.2	粒子群优化算法的构成要素	248
6.5.3	改进的粒子群优化算法	250
6.5.4	粒子群优化算法在 PID 参数整定中的应用	259
	习题	262
	参考文献	264

绪 论

1.1 智能信息处理概述

1.1.1 智能信息处理的产生及发展

信息技术的三大支柱包括传感技术、计算机技术和通信技术。传感技术是信息技术的前端,是信息的来源,是衡量一个国家信息化程度的重要标志。计算机是信息处理加工中心,随着大数据时代的到来,对其处理能力提出了更高的要求。通信技术是电子工程的重要分支,同时也是其中一个基础学科,关注的是通信过程中的信息传输以及信号处理的原理和应用。

在信息处理中,信息的获取、传输、存储、加工处理及应用所采用的技术、理论方法和系统都需要由计算机来完成。目前的电子计算机硬件仍有很大的局限性,要模拟人的信息处理能力还很困难。因此,需要研究一种新的“软处理”“软计算”的理论方法和技术,来弥补电子计算机硬件系统的不足。在此背景下,智能信息处理技术被提出并得到了广泛的研究和发展。

1. 什么是智能信息处理

智能信息处理是模拟人与自然界其他生物处理信息的行为,建立处理复杂系统信息的理论、算法和系统的方法及技术。智能信息处理主要面对的是不确定性系统和不确定性现象的处理问题。

现阶段信息处理技术领域呈现两种发展趋势:一种是面向大规模、多介质的信息,使计算机系统具备处理更大范围信息的能力;另一种是与人工智能进一步结合,使计算机系统更智能化地处理信息。

2. 智能信息处理技术内容

智能信息处理技术所涉及的内容广泛,包括图像处理、人工智能、计算智能、数据挖掘、数据融合、模式识别、数据可视化等。从目前的发展趋势来看,又以计算智能为重点。计算智能是在人工智能基础上发展形成的一种新的智能技术。

1.1.2 人工智能概述

1. 智能

智能可以认为是知识和智力的总和,知识是一切智能行为的基础,而智力是获取知识并运用知识求解问题的能力,即在任意给定的环境和目标的条件下,正确制定决策和实现目标的能力。

智能具有如下特征:

(1) 感知能力:感知是获取外部信息的基本途径。

(2) 记忆和思维能力:记忆用于存储由感觉器官感知到的外部信息,以及由思维所产生的知识;思维用于对记忆的信息进行处理,它是一个动态的过程,是获取知识以及运用知识求解问题的根本途径。

(3) 学习能力和自适应能力:通过学习积累知识,适应环境的变化。

(4) 行为能力:可用作信息的输出。

2. 人工智能

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是人们使机器具有类似于人的智能,或者说是人类智能在机器上的模拟。如今,人工智能已经成为一门专门研究如何构造智能机器或智能系统,使其能够模拟、延伸、扩展人类智能的学科,并且该学科在社会生产生活的诸多方面发挥着越来越大的作用。下面将从 AI 学科的发展、AI 主要的研究学派和研究方法,以及 AI 研究内容和应用领域这三个方面简要地阐述人工智能的基本理论。

1.1.3 AI 的发展

人工智能是在 1956 年作为一门新兴学科的名称被正式提出的,回顾它的发展历史可以归结为孕育、形成和发展三个阶段。

1. 孕育阶段

按时间来划分,主要指 1956 年之前,此阶段对人工智能的产生和发展有重大影响的主要研究和贡献有:

(1) 英国哲学家培根(F. Bacon, 1561—1626)曾系统地提出了归纳法,这对于研究人类的思维过程,以及自 20 世纪 70 年代人工智能转向以知识为中心的研究都产生了重要影响。

(2) 英国逻辑学家布尔(G. Boole, 1815—1864)创立的布尔代数,他在《逻辑法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。

(3) 英国数学家图灵在 1936 年提出了一种理想计算机数学模型,即图灵机,为后来电子数字计算机的问世奠定了理论基础。

(4) 1943 年,美国人麦克洛奇(W. McCulloch)和皮兹(W. Pitts)建成了第一个神经网络模型(M-P 模型),为人工神经网络的研究奠定了基础。

(5) 1946 年,美国数学家莫奇利(J. W. Mauchly)和埃克特(J. P. Eckert)研制了世界上第一台数字计算机 ENIAC,这为人工智能的研究奠定了物质基础。

2. 形成阶段

1956 年夏天,在达特茅斯(Dartmouth)学院召开了一次关于机器智能的研讨会,这是一

次具有历史意义的重要会议,它标志着人工智能作为一门新兴学科的诞生。会上正式采用了“人工智能”这一术语,用它来代表有关机器智能这一研究方向。在此后的10多年里,即1956—1969年,人工智能的研究取得了许多引人瞩目的成就:

(1) 在机器学习方面,塞缪尔于1956年研制出跳棋程序。

(2) 在定理证明方面,数理逻辑学家王浩于1958年在IBM_704计算机上用3~5min证明了《数学原理》中有关命题演算的全部定理;1965年鲁滨逊提出了消解原理,为定理的机器证明做出了突破性的贡献。

(3) 在模式识别方面,1959年塞尔夫里奇推出了一个模式识别程序,1965年罗伯特编写出可以分辨积木构造的程序。

(4) 在问题求解方面,1960年纽厄尔等人通过心理学试验总结出人们求解问题的思维规律,编写出通用问题求解程序GPS,可以用来求解11种不同类型的问题。

(5) 在人工智能语言方面,1960年麦卡锡开发出了人工智能语言LISP,成为构建智能系统的重要工具。

(6) 在专家系统方面,美国的费根鲍姆研制出DENDRAL系统,为以后专家系统的建立奠定了基础,促进了人工智能的发展。

(7) 1969年,国际人工智能联合会议(International Joint Conference on Artificial Intelligence,IJCAI)成立,标志着人工智能这一新兴学科得到了世界的公认。

3. 发展阶段

从1970年至今,可以作为AI的发展阶段,在这一时期的重大贡献和成果如下:

(1) 1970年创刊了国际性人工智能杂志,它对推动人工智能的发展、促进研究者之间的交流起到了重要作用。

(2) 专家系统的研究在多个领域中都取得了重大突破,比较著名的有地质勘探专家系统PROSPECTOR,以及医疗专家系统MYCIN。

(3) 专家系统的成功,使人们越来越清楚地认识到知识是智能的基础,对人工智能的研究以知识为中心来进行,随着对知识的表示、利用、获取等的研究取得了较大进展,特别是对不确定性知识的表示和推理取得了突破,建立了主观Bayes理论、证据理论等。

1.1.4 AI主要的研究学派和研究方法

AI主要的研究学派有以下几种:

(1) 生理学派:起源于仿生学,研究脑模型。1943年提出了MP模型,认为认识的基本元素是神经元,认识过程是神经元整体活动,分布式并行模式,研究神经网络模型;20世纪五六十年代以感知器为代表,70年代因理论模型困难陷入低潮,80年代后期由于多层感知器理论模型的突破,人工神经网络的研究兴起了热潮。人工生命研究,其核心是神经网络的联结活动过程。

(2) 心理学派:起源于逻辑学,考察人类解决各种问题时采取的方法;总结人的思维活动规律。认为人的认识过程是符号处理过程,人工智能的核心是表示问题。1956年第一次采用了AI这个术语,沿着启发式程序→专家系统→知识工程的道路发展,20世纪七八十年代取得了重大进展,是AI的主要流派。

(3) 进化论学派:研究生物演化算法,认为人类智能从生物的演化中得到,20世纪70

年代开始演化算法研究,已取得很大进展。

(4) 控制论学派: 20 世纪四五十年代研究人工控制过程中的智能活动与行为特性,如自适应、自学习等;六七十年代研究自适应控制;80 年代随计算机技术和微电子学技术的突破,在智能控制、智能机器人上掀起热潮。

(5) 社会学派: 典型代表是对智能体的研究。智能体是指驻留在某一环境下,能持续自主地发挥作用,具备驻留性、反应性、社会性、主动性等特征的计算实体。研究内容包括 Agent、多 Agent、智能 Agent 等理论。

1.1.5 AI 研究内容和研究领域

1. 研究内容

人工智能研究的基本内容包括以下方面:

- (1) 机器感知: 计算机视觉和听觉,主要有模式识别和自然语言理解。
- (2) 机器思维: 知识的表示,知识的组织,知识的推理,启发式搜索,神经网络。
- (3) 机器学习: 知识获取,归纳学习,类比学习,解释学习。
- (4) 机器行为: 智能机器人。
- (5) 智能系统及智能计算机的构造技术。

2. 研究领域

1) 专家系统

专家系统是目前人工智能中最活跃、最有成效的一个研究领域。专家系统是一种具有特定领域内大量知识和经验的程序系统,它应用人工智能技术,模拟人类专家求解问题的思维过程来求解领域内的各种问题,其水平可以达到甚至超过人类专家的水平。

2) 机器学习

机器学习就是要让计算机自身具有类似于人的学习的能力。

3) 模式识别

模式是对一个物体或者某些其他感兴趣实体定量的或者结构的描述;模式识别是研究如何使计算机具有感知能力的一个研究领域,主要研究对视觉模式以及听觉模式的识别。

4) 自然语言理解

自然语言理解是研究如何让计算机理解人类自然语言的一个研究领域。

5) 自动定理证明

定理证明的实质是对前提 P 和结论 Q,证明 $P \rightarrow Q$ 的永真性。

6) 自动程序设计

自动程序设计包括程序综合与程序正确性验证两个方面的内容。

7) 机器人学

机器人是指可模拟人类行为的机器,人工智能的所有技术几乎都可以在它身上得到应用,因此它被当作人工智能理论、方法、技术的试验场地。

8) 博弈

博弈是诸如下棋、打牌等竞争性很强的智能活动。人工智能研究博弈的目的是通过对博弈的研究来检验某些人工智能技术是否能达到对人类智能的模拟。

9) 智能决策支持系统

智能决策支持系统是近年来新兴的一个研究领域,它是把人工智能的有关技术应用于决策支持系统领域而形成的。

10) 人工神经网络

简而言之,人工神经网络是一个用大量简单处理单元经广泛连接而组成的人工网络,用来模拟大脑神经系统的结构和功能。

1.1.6 计算智能的产生

1. 计算智能

20世纪90年代以来,在智能信息处理研究的纵深发展过程中,人们特别关注到精确处理与非精确处理的双重性,强调物理符号机制与连接机制的综合,倾向于冲破“物理学式”框架的“进化论”新路,一门称为计算智能(Computational Intelligence, CI)的新学科分支被概括地提出来,并以更加明确的目标蓬勃发展。

2. CI和AI的异同

美国学者 James C. Bezdek 认为计算智能依靠生产者提供的数字材料,而不是依赖于知识,而人工智能使用的是知识精华。

智能可以划分成3个层次:

(1) 生物智能(BI): 是由人脑的物理化学过程反映出来的,人脑是有机物,是智能的物质基础。

(2) 人工智能(AI): 是非生物的、人造的,常用符号表示,AI的来源是人的知识精华和传感器数据。

(3) 计算智能(CI): 是由数学方法和计算机实现的,CI的来源是数值计算和传感器。

计算智能信息处理技术是模糊系统、神经网络、进化计算混沌动力学、分形理论、小波变换、人工生命等交叉学科的综合集成。它有两个显著的特征:①主要依赖生产者提供的数字材料;②主要借助数学计算方法的使用。

1.2 计算智能信息处理的主要技术

计算智能信息处理的三大主要技术包括模糊计算、神经计算和进化计算。

1.2.1 模糊计算技术

模糊理论源于美国,但长期以来受学派之争的束缚,实际应用进展缓慢。到20世纪80年代后期,在日本以家用电器的广泛使用模糊控制作为突破口,使模糊逻辑的实际应用获得迅速发展。目前,模糊逻辑主要应用在自动控制、模式识别和决策推理系统、预测、智能系统设计、智能机器人、图像处理与识别、模糊神经计算、人工智能等领域。

1. 发展概况

1965年,美国加州大学伯克利分校 L. Zadeh 教授发表了著名的论文 *Fuzzy Sets* (模糊

集),开创了模糊理论。1973年 Zadeh 教授提出了模糊逻辑的语言方法。1974年英国 Mamdani 实现了蒸汽轮机控制实验。1985年英国 Mamdani 推出了第一个模糊推理芯片。1987年日本日立公司实现了仙台地铁机车全自动驾驶。1990年日本家用电器的“模糊热”将模糊控制推上了研究新高度。

“模糊家电”可模仿人的思维、判断,制成表进行数量化,由微电脑控制进行操作运行。例如,模糊电视机可依室内光线的强弱,自动调节电视机的亮度、对比度;模糊摄像一体机采用电路和模糊逻辑控制光圈,使画面更清新、亮丽;模糊血压计,突破传统血压计需要专业人员才能使用的局限,普通人就能熟练操作。

2. 模糊集合的概念

模糊集合不同于普通集合,普通集合中的成员是具有精确特性的对象。例如,“8~12的实数集合”是一个清晰的集合 $C, C = \{\text{实数 } r | 8 \leq r \leq 12\}$ 。用特征函数 $M_C(r)$ 表示成员 r 隶属于集合 C 的程度(图 1-1),即

$$M_C(r) = \begin{cases} 1, & 8 \leq r \leq 12 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

这个特征函数是唯一的,且只有两个答案:“是”或“否”,对应于传统的二值逻辑。图 1-1 所示为一特征函数。

模糊集合中成员的特性是模糊的。例如,“接近于 10 的实数集合”是一个模糊集合 F :

$$F = \{\text{接近于 } 10 \text{ 的实数 } r\}$$

显然,这时的特征函数 $M_F(r)$ 不是唯一的。譬如用一个等腰三角形来表示(图 1-2),成员 10 隶属于该模糊集的程度可定义为 1,9、11 的隶属度是 0.75,7.2、12.8 的隶属度是 0.275 等。因此,特征函数在 0~1 区间取值。这种函数称为隶属函数,所对应的逻辑是多值逻辑,更确切地说是模糊逻辑。特征函数如图 1-2 所示。

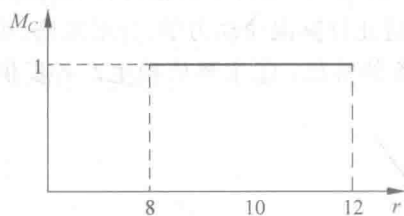


图 1-1 普通集合特征函数

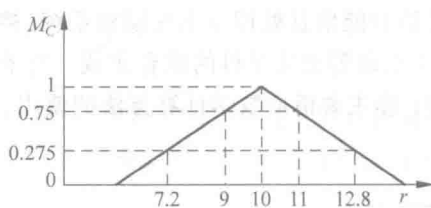


图 1-2 模糊集合等腰三角形特征函数

3. 模糊性和概率性的区别

概率性:事件本身是清晰的,只是事件出现的频数具有不确定性。例如,在一个群体中“老年人得心脏病”的机会一般可用统计方法得到。

模糊性:事件本身是含糊不清的,而事件出现是确定的(也可以是不确定的)。例如,年龄分组为“青年”“中年”“老年”等,这是一些模糊的概念,且是确实存在的,它们不一定通过统计来规定,在一定社会背景下,完全可以人为定义。

把普通的集合论推广到模糊集合论,主要基于真实世界中的概念往往没有清晰界限这一事实。对于“模糊逻辑”,从狭义上,它是基于模糊集进行近似推理的形式化理论;从广义上,它是基于模糊集的一种决策支持理论,包括推理、控制、模式识别、综合评判、规划等人类

思维决策过程。

4. 模糊逻辑控制技术

一般的控制可用术语和规则来描述过程控制功能,计算的只是“真”和“假”两个值。而模糊逻辑控制中,模糊术语表达的是集合的隶属程度,而模糊规则结论的真值是一个连续的范围。

1.2.2 神经计算技术

1. 神经网络的特征及特点

大规模的并行处理、分布式的信息存储、良好的自适应性、自组织性以及很强的学习能力、联想功能和容错功能等是神经网络的主要特征。

神经网络的主要特点包括如下方面:

- (1) 能够处理连续的模拟信号;
- (2) 能够处理不精确的、不完全的模糊信息;
- (3) 给出的是次最优的逼近解;
- (4) 并行分布工作,各组成部分同时参与运算;
- (5) 单个神经元的动作速度不快,但网络总体的处理速度极快;
- (6) 具有较好的鲁棒性和容错性。

2. 神经网络的发展简史

1943年,麦克洛奇与皮兹提出了神经网络的数学模型——M-P模型,开创了神经科学理论研究的新时代。1949年,Hebb提出了改变神经元连接强度的Hebb规则,为神经网络学习算法的研究奠定了基础。1957年,F. Rosenblatt提出了感知器模型。1969年,M. Minsky提出简单的线性感知器无法解决异或问题,要解决这个问题,必须加入隐层节点。1982年和1984年J. J. Hopfield发表了两篇文章,提出了一种反馈互联网,利用该网络可以求解联想记忆和优化计算的问题。1986年,鲁梅哈特和麦克兰德提出了多层前馈网反向传播算法,简称BP算法,解决了感知器不能解决的问题。

我国在神经网络方面的研究相比国际起步较晚一点。从1986年开始,国内先后召开了多次非正式的神经网络研讨会。1990年12月,由中国计算机学会、电子学会、人工智能学会、自动化学会、通信学会、物理学会、生物物理学会和心理学会8个学会联合在北京召开了“中国神经网络首届学术会议”,从而开创了我国神经网络研究的新纪元。

1.2.3 进化计算技术

1. 遗传算法的发展历程

从20世纪60年代开始,密歇根大学教授Holland开始研究自然和人工系统的自适应行为,开创了与目前类似的复制、交换、突变、显性、倒位等基因操作,建议采用二进制编码,提出了遗传算法理论。进入80年代,随着以符号系统模拟智能的传统人工智能陷入困境,神经网络、机器学习和遗传算法得到较大发展。进入90年代,以不确定性、非线性等为内涵,遗传算法在众多领域得到了广泛应用。

2. 遗传算法的基本理论研究

遗传算法理论研究内容包括遗传算法的编码策略、全局收敛性和搜索效率的数学基础、

遗传算法的新结构、基因操作策略及其性能、遗传算法参数的选择以及与其他算法结合等方面的研究。

一般而言,遗传算法主要采用计算的方法模拟达尔文生物进化优胜劣汰过程。这是个使一个群体经过一代代选择、杂交和变异体现适应性的过程。在此过程中,好的个体具有较大的选择概率,由随机状态向好的状态和更好的状态进化。选择是按个体适应值具有较大概率者从群体中选择两个个体,如:

$$A = [X_1, X_2, \dots, X_{j-1}, X_j, X_{j+1}, \dots, X_n]$$

$$A = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{j-1}, Y_j, Y_{j+1}, \dots, Y_n]$$

然后对这两个个体进行杂交。杂交过程是在染色体链中随机地选择杂交 j , 交换两个父代染色体中 j 点以后的基因, 杂交后的结果为

$$A = [X_1, X_2, \dots, X_{j-1}, X_j, Y_{j+1}, \dots, Y_n]$$

$$A = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{j-1}, Y_j, X_{j+1}, \dots, X_n]$$

3. 进化计算与遗传算法的关系

进化计算(EC)体现了生物进化中的4个要素,即繁殖、变异、竞争和自然选择。目前进化计算包括遗传算法、进化策略、进化规划等。细分如下:

- (1) 最具有代表性、最基本的遗传算法;
- (2) 较偏向数值分析的进化策略;
- (3) 介于数值分析和人工智能间的进化规划;
- (4) 偏向进化的自组织和系统动力学特性的进化动力学;
- (5) 偏向以程式表现人工智能行为的遗传规划;
- (6) 适应动态环境学习的分类元系统;
- (7) 用以观察复杂系统互动的各种生态模拟系统;
- (8) 研究人工生命(artificial life)的细胞自动机;
- (9) 模拟蚂蚁群体行为的蚁元系统。

4. 遗传算法参数的选择

遗传算法中需要选择的参数主要有串长 L , 群体大小 n , 交换概率 p_c 以及突变概率 p_m 等。二进制编码时,串长 L 的选择取决于特定问题解的精度。Goldberg 提出了变长度串的概念,并显示了良好性能,为了选择合适的 n 、 p_c 、 p_m ,谢弗(Schaffer)建议的最优参数范围是 $n=20\sim 30$, $p_c=0.75\sim 0.95$, $p_m=0.005\sim 0.01$ 。

目前常用的参数范围是 $n=20\sim 200$, $p_c=0.5\sim 1.0$, $p_m=0\sim 0.05$,在简单遗传算法(SGA)或标准遗传算法(CGA)中,这些参数是不变的。

5. 遗传算法的应用

遗传算法的应用研究比理论研究更为丰富,已渗透到许多学科。遗传算法的应用按其方式可分为三大部分,即基于遗传的优化计算、基于遗传的优化编程、基于遗传的机器学习,分别简称为遗传计算(genetic computation)、遗传编程(genetic programming)、遗传学习(genetic learning)。