

FUZZY INFORMATION PROCESSING
AND APPLICATION

模糊信息处理及应用

FUZZY INFORMATION PROCESSING AND APPLICATION

曹谢东 编著



科学出版社
www.sciencep.com

模糊信息处理及应用

曹谢东 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较系统地介绍了模糊信息处理必备的基础理论,重点突出了模糊逻辑和模糊推理理论,及其在计算机、人工智能和自动控制等领域的应用技术。

本书深入浅出、重点突出、内容新颖、理论结合实际,可作为计算机、自动控制、人工智能、模式识别、信息工程、系统工程、工商管理、经济金融及其它相关学科领域大学本科和研究生的教学用书,亦可供广大科技工作者和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

模糊信息处理及应用/曹谢东编著. —北京: 科学出版社, 2003

ISBN 7-03-012317-4

I. 模... II. 曹... III. 模糊信息处理 IV. O159

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 090264 号

策划编辑: 李振格/责任编辑: 万国清

责任印制: 吕春珉/封面设计: 东方人华平面设计部

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2003年10月第一次印刷 印张: 15 3/4

印数: 1—3 000 字数: 360 000

定价: 26.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

前 言

现代计算机技术以及基于计算机的知识工程、专家系统、人工智能和信息技术的不断发展,为人类解决各种复杂系统问题开辟了新的途径,这就是以人(专家体系)为主,人一机结合的知识综合集成。其中包括了科学的和经验的知识和、定性的和定量的知识、理性的和感性的知识。

人们一直在探索表达和处理定性知识的方法,以模糊逻辑为代表的模糊信息技术可称得上是一种有力的武器。模糊信息处理理论始于 1965 年扎德(L.A.Zadeh)教授在“Fuzzy Set”一文中提出的模糊集理论,它一诞生就显示出强大的生命力,并很快应用于自动控制、决策分析、模式识别、人工智能及其它领域,取得可喜的成效。

模糊信息处理理论的发展应该是开放的,这体现在模糊信息处理与其它技术的结合。神经网络技术与模糊技术是用两种不同的方法来模拟人脑,它们源于人脑,优势互补,结合后将起到 1 加 1 大于 2 的结果,并使研究和应用上了一个新台阶。

模糊信息处理理论的开放式发展也体现在它同计算机开发主流技术的结合上,通过开放的分布式计算机集成环境构造的多专家系统,可以使模糊信息处理功能得到极大的发挥,同时也使分布式的信息综合集成更加智能化。

本书系统地介绍了模糊信息处理理论及其在自动控制、模糊识别、专家系统和人工神经网络等方面的应用,并对模糊逻辑和模糊推理作了较多的论述。全书深入浅出、重点突出,内容新颖,理论结合实际,反映了发展中的模糊信息处理的部分最新成果和趋势。全书共分 4 章,各章内容安排如下:

(1) 第 1 章~第 4 章为模糊信息处理的基础理论和基本方法。

(2) 第 5 章~第 7 章着重介绍模糊逻辑理论、模糊推理及基于上述理论的模糊硬件系统的组成原理。

(3) 第 8 章~第 9 章分别介绍模糊信息处理在自动控制和模式识别领域的应用和实现方法;

(4) 第 10 章介绍了模糊专家系统的基本原理、特点和实例。

(5) 第 11 章通过对模糊推理与神经网络结合的讨论,进一步启发和指出模糊信息处理应该朝着开放和综合的道路发展。

每一章均附有习题,通过练习加强和巩固知识。

本书的出版得到西南石油学院及科学出版社的大力支持,中国人工智能学会、中国人工智能学会智能系统专业委员会以及许多教授、专家和同仁在本书编写过程中给予了热情的帮助和认真的审阅。本书由黄纯国博士主审,书稿的整理、打印和校审由王燕完成,这里再次一并致以衷心的感谢。由于作者水平有限,本书中一定有不少缺点和错误,望读者能给予斧正。

作 者

2003 年 8 月于西南石油学院

目 录

绪论	1
第 1 章 模糊集合	8
1.1 模糊子集及其运算	8
1.1.1 模糊子集定义	8
1.1.2 模糊子集的表示	9
1.1.3 模糊子集的基本性质	10
1.2 λ 截集	12
1.3 几个重要模糊子集	13
1.4 隶属函数的确定	14
1.4.1 模糊统计	14
1.4.2 二元对比排序	15
1.4.3 其它	16
习题	21
第 2 章 模糊关系	22
2.1 模糊关系	22
2.1.1 普通关系	22
2.1.2 模糊关系	22
2.2 模糊关系的合成	27
2.2.1 普通关系的合成	27
2.2.2 模糊关系的合成	27
2.3 模糊等价关系	30
2.3.1 模糊等价关系	30
2.3.2 传递闭包	31
习题	32
第 3 章 模糊相似性	33
3.1 距离度量法	33
3.1.1 海明 (Hamming) 距离	33
3.1.2 加权海明距离	34
3.1.3 欧氏距离	35
3.1.4 闵科夫斯基 (Minkowski) 距离	35
3.2 贴近度	36
3.2.1 内外积法	36
3.2.2 距离法	39
3.2.3 其它方法	39

3.3 模糊概念的模糊性	40
习题	42
第4章 综合评判和关系方程	43
4.1 综合评判的正问题	43
4.1.1 正问题模型 I	43
4.1.2 正问题模型 II	46
4.2 综合评判的逆问题与模糊关系方程	47
4.2.1 模糊关系方程的一般形式	47
4.2.2 TKM 法[Y.Tsukamoto, 1979]	48
4.2.3 表格法	52
4.2.4 近似试探法解综合评判逆问题	55
习题	56
第5章 模糊逻辑	57
5.1 命题逻辑与谓词逻辑	57
5.1.1 命题与命题逻辑	57
5.1.2 一阶谓词逻辑	58
5.1.3 一阶谓词逻辑为基础的知识表示方法	59
5.2 多值逻辑与模糊逻辑	60
5.2.1 多值逻辑	60
5.2.2 模糊谓词逻辑	61
5.2.3 模糊语言值逻辑	62
5.3 模糊逻辑公式	63
5.3.1 模糊逻辑公式	63
5.3.2 模糊逻辑范式	64
5.3.3 模糊逻辑公式的化简	66
5.4 模糊语言逻辑	72
5.4.1 语言的模糊性	72
5.4.2 模糊语言真值逻辑	76
5.4.3 模糊语言值逻辑的运算	78
5.5 区间值模糊逻辑	80
习题	86
第6章 模糊推理	87
6.1 模糊假言推理	87
6.1.1 模糊假言推理	87
6.1.2 Zadeh 合成规则	90
6.1.3 Mamdani 法	91
6.1.4 其它方法	93
6.1.5 带模糊真值假言推理	93
6.1.6 带模糊真值假言推理的 Baldwin 法	94

6.2	模糊量化推理.....	95
6.3	复合蕴涵模糊推理.....	98
6.4	多段蕴涵模糊推理.....	103
6.5	合情推理.....	106
6.6	序同态模糊推理.....	109
6.6.1	序同态.....	109
6.6.2	序同态模糊推理模型.....	110
6.7	区间值模糊推理.....	111
6.8	模糊推理应用实例.....	113
	习题.....	116
第 7 章	模糊硬件系统.....	117
7.1	模糊逻辑公式与模糊逻辑电路.....	117
7.1.1	模糊逻辑的多值化处理.....	117
7.1.2	模糊逻辑公式的分解.....	117
7.1.3	模糊逻辑公式的合成.....	120
7.1.4	模糊逻辑电路.....	123
7.2	模糊推理机.....	126
7.2.1	模糊软匹配模型.....	126
7.2.2	数字模糊硬件系统.....	127
7.2.3	模拟模糊硬件系统.....	129
	习题.....	132
第 8 章	模糊控制系统.....	134
8.1	模糊控制基本原理.....	134
8.1.1	精确量的模糊化.....	137
8.1.2	控制规则常见类型.....	139
8.1.3	模糊推理模型.....	141
8.1.4	输出模糊信息的判决.....	144
8.2	模糊控制实例.....	146
8.2.1	水位控制.....	146
8.2.2	温度控制.....	149
8.2.3	带修正因子的模糊控制器.....	153
8.2.4	钻井泥浆粉料动态计量装置的微机模糊控制.....	155
8.3	预测模糊控制.....	159
8.3.1	预测模糊控制规则.....	159
8.3.2	预测模糊控制的推理.....	161
	习题.....	164
第 9 章	模糊模式识别.....	166
9.1	模式识别理论概述.....	166
9.1.1	模式识别的基本过程.....	166

9.1.2 基于 Fuzzy 理论的识别方法	169
9.2 贴近度分类法	170
9.2.1 直接分类法	170
9.2.2 间接分类法	170
9.3 模糊积分分类法	174
9.3.1 模糊积分分类	174
9.3.2 模糊积分	175
9.4 模糊关系聚类分析	176
9.4.1 特征数据的正规化	177
9.4.2 标定相似系数	177
9.4.3 聚类	181
9.5 模糊 ISODATA 动态聚类法	185
9.5.1 普通动态聚类法	185
9.5.2 模糊 ISODATA 动态聚类	188
9.6 模糊划分聚类	190
9.6.1 模糊 C 划分	190
9.6.2 模糊 C 划分 ISODATA 聚类方法	191
9.7 模糊推理分类	193
习题	194
第 10 章 模糊专家系统	196
10.1 专家系统构成及产生式系统	196
10.1.1 专家系统的知识表示及构成	196
10.1.2 产生式系统	198
10.1.3 模糊产生式系统	200
10.2 模糊专家系统开发工具	201
10.2.1 构造模糊专家系统外壳	202
10.2.2 外壳实例 1——FLOPS	203
10.2.3 外壳实例 2——Z-II	204
10.3 油田回注水处理混合型专家系统	209
10.3.1 引言	209
10.3.2 系统设计	210
10.3.3 知识表示	211
10.3.4 推理控制机制	212
10.3.5 系统结构	213
10.3.6 经济分析	213
10.3.7 冲突消解	214
10.3.8 推理机的工作流程图	215
10.3.9 解释机制	215
10.3.10 结论	216

习题.....	216
第 11 章 模糊神经网络	217
11.1 神经网络结构.....	217
11.1.1 神经元结构.....	218
11.1.2 神经元模型.....	218
11.2 BP 网络与算法	219
11.2.1 感知器.....	219
11.2.2 BP 网络与算法.....	220
11.2.3 S 型函数	223
11.3 模糊推理神经网络结构	224
11.3.1 模糊神经网络结构.....	224
11.3.2 隶属函数神经子网与规则神经子网	226
11.4 模糊神经网络的学习和解释.....	227
11.4.1 隶属函数和模糊规则修正机制.....	227
11.4.2 隶属函数和模糊规则抽取	229
11.5 模糊神经网络的改进模型	234
习题.....	237
主要参考文献	238

绪 论

今天,在支配人类社会的三大要素(能源、材料和信息)中,信息愈来愈显示出其重要性和支配力,它将人类社会由工业化时代推向信息化时代。而随着人类活动范围扩展、生活节奏加快以及技术的进步,人们能以各种快速、方便而廉价的方式获取、存储和处理数据,这就使得数据和信息量以指数形式向上增长。互联网(Internet)的出现和发展,以及随之而来的企业内部网(Intranet)和企业外部网(Extranet)以及虚拟私有网 VPN (Virtual Private Network)的产生和应用,将整个世界联成一个小小的地球村,人们可以跨越时空在网上交换信息和协同工作。这样,展现在人们面前的已不是局限于本部门、本单位和本行业的庞大数据库,而是浩瀚无垠的信息海洋。据估计,1993 年全球数据存储容量约为 2000TB, 到达 2000 年增加到 3000000TB。这些信息有定量的也有定性的,有确定的也有不确定的。对这些极度膨胀的、种类繁多的信息量,人们极大地感受到了这种“信息爆炸”、“混沌信息空间”(Information Chaotic Space)和“数据过剩”(Data glut)带来的巨大压力。

一部人类文明发展史,就是在各种活动中知识的创造、交流、再创造而不断积累的螺旋式上升的历史,计算机与信息技术的发展,加速了这种过程。据德国世界报的资料分析,19 世纪科学定律(包括新的化学分子式、新的物理关系和新的医学生物工程认识)的认识数量一百年增加一倍,到 20 世纪 60 年代中期以后,每五年就增加一倍,这其中知识起着关键的作用。当数据量极度增长时,如果没有有效的方法,就像现在一样使用计算机及信息技术来传递、获取和提取有用信息和知识,便会感到像大海捞针一样束手无策。而人类的各项活动基于人类的知识和智能,即对外部世界的观察和了解,正确的判断和决策以及采取正确的行动。在这种情况下,如何将人所特有的信息处理(模糊信息处理)能力,同当代以计算机技术为基础的信息技术相结合,提高信息处理的速度和质量,就显得非常重要。

1. 数据、信息、知识和智慧

1998 年,世界银行推出了《1998 年世界发展报告——知识促进发展》,对数据、信息和知识之间的区别进行了阐述,报告指出:

数据是未经组织的数字、词语、声音、图像等;

信息是以有意义的形式加以排列和处理的数据(有意义的数字);

知识是用于生产的信息(有意义的信息)。信息经过加工、处理并应用于生产,才能转变成知识。

而**智慧**是把知识应用于知识产生新的知识的一个动态过程,即创新能力。是建立在“数据—信息—知识”之上的一种更高层次的知识创造活动。

从数据到智慧是一个分析、加工、处理、精炼和创新的过程,图 1 为关系链。

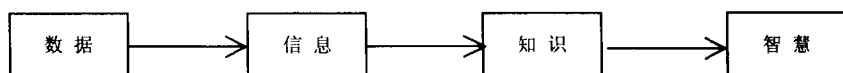


图1 数据到智慧的过程

人类智慧的两大支柱一是逻辑思维，二是逻辑推理。在对人的左脑进行逻辑思维方面，计算机的能力和速度都大大超过人脑，但同人右脑的形象思维能力相比则相形见绌。人右脑在进行形象思维时，就是对模糊信息进行处理的过程。故维纳（著名控制论创始人）将“人具有运用模糊概念的能力”作为人能超过任何机器的重要原因。

模糊信息处理是人类在长期进化过程中所获得的高智能能力。在科学技术高度发展的现代化社会里，模糊信息处理在生产、科学实验及生活中必不可少。在处理突发事件中随机应变，在面临重大问题需要拍板下决心时离不开模糊信息处理，在日常生活中诸如走路、购物、做菜等都需要进行模糊信息处理。

在对自然界、人类社会以及人类自身普遍存在的复杂事物进行大量深入研究时，会涉及到大量的信息处理。但是，并非事物的一切属性和一切关系都是确定的、明确的，可以用严格的形式方法来描述。相反，在大多数情况下存在一定的模糊性。例如，对象的属性可能存在一定的模糊性，对象间的关系可能存在一定的模糊性，或者作用于对象上的操作可能存在一定的模糊性。总之能用严格的定量的方法所描述的知识是少数的，大量的尚不能或不需要用精确的形式化的方法所表示的定性知识。

模糊信息处理是更复杂、更高级的信息处理。在科学技术，特别是计算机科学到了高速发展的今天，才将模糊信息处理提上议事日程是很自然的。人们已经在着手研究同时具有人右脑形象思维能力的计算机，尝试通过模糊技术（宏观上）、神经网络技术（微观上）以及它们的结合，使计算机成为具有智慧的电脑，而不是跛足的巨人。

2. 模糊概念

人们在认识客观事物的过程中会产生各种概念。概念即是反映事物的本质属性和特征的思维形式，它包括“内涵”和“外延”两个重要方面。

内涵——概念所反映的对象的特有属性——本质属性。

内涵是主观的，是认识事物的结果。它与客观事物的特有属性——本质属性是有区别的。

外延——指概念所反映的对象的总和，即量的方面，对象的范围、集合。

同理，也是一种认识。

对于某一环境条件下，既某一论域，我们可以在其上建立若干概念。就校园里的人群，有“男生”、“女生”、“博士”、“讲师”、“教授”、“老乡”、“好学生”、“青年教师”、“老教授”、“好朋友”、“老熟人”等等常见概念。

例如“男生”和“女生”这两个概念，其内涵是指他们生理、外貌等方面的属性特征，从外延上可以很分明地将他们进行划分，校园里的任何一个人都可以明确的认定“是”，还是“不是”。这样的概念显然是确定性的概念。

反之，对于“好朋友”，“老教授”等概念，我们却很难明确划分界限，总有人会不同程度地属于或不属于这些概念，于是我们可以这样来定义：如果一个概念的外延没有

明确的边界,这种概念我们称之为**模糊概念**。换句话说,这一事物具有模糊性。

这类概念和事物在我们日常生活和工作中占绝大多数,如:“王子韬是一个高个子”,“李娇工作很出色”,“将供气加大些”,“雷宇快回国了”,“将车向左稍微偏一点”,“这篇论文写得非常好”,“如果西红柿是红的,则它是熟的”,“如果茶杯是空的,则开水壶倒水的角度应大些”,“如果感染上非典病毒,目前是比较难治的”等都具有模糊性。对于这些,人把握起来很容易,也很自然。如果用机器,或以程序化来处理这些包含有模糊信息的事物,模糊逻辑理论就是强有力的工具。

用模糊理论对模糊信息进行处理并不是简单地对这类事物作肯定或否定,即不能采用二值逻辑的方法。现在我们可以用隶属度来反映一事物属于某一模糊概念范畴的程度,以此来描述其模糊性。如“老教授”这一事物,校园内不同的人有不同的隶属度。如王教授快 60 岁了,他属于“老教授”隶属度认为是 1.0,李教授 48 岁,他的隶属度可定为 0.6,张老师是讲师,陈刚是研究生,他们关于“老教授”的隶属度是 0.0。

3. 模糊信息处理的发展

1965 年,模糊理论的创始人,美国加利福尼亚大学伯克利分校的自动控制理论专家 L.A.Zadeh 教授发表了题为“Fuzzy Set”的论文,这标志着模糊信息处理的诞生,并于 20 世纪 60 年代在各科学会议上从模糊信息处理观点出发,阐述了他的理论。这一理论为描述和处理事物的模糊性和系统中的不确定性,以及模拟人所特有的模糊逻辑思维功能,从定性到定量,提供了真正强有力的工具。1966 年,马里诺斯(P.N.Marunos)发表了模糊逻辑的研究报告,而 Zadeh 进一步提出著名的模糊语言值逻辑,并于 1974 年进行了模糊逻辑推理研究。由于这一研究和观点反映了客观世界中普遍存在的事物,它一出现便显示出强大的生命力和广阔的发展前途,在自然科学、其它学科领域及工业中得到了迅速的、广泛的应用。

20 世纪 70 年代模糊理论用于控制领域的研究开始盛行,并取得成效。其代表是英国伦敦大学玛丽皇后分校的 E. H. Mamdani 教授将 IF-THEN 型模糊规则用于模糊推理,并把这种规则型模糊推理用于蒸汽机的自动运转中,其效果超过了传统的 DDC 控制,由此开辟了模糊理论用于工业生产的第一个实例。而后模糊理论在各行中的研究与应用很快展开:

1975~1976 年荷兰的 V.N.Lemke 和 W.Kickert 进行了对传统方法难以控制的热电站的模糊控制;1976 年丹麦的 P.M.Larson 和 J.J.Osterhaard 也作了热交换器的模糊控制;英国曼彻斯特大学的 D.A.Rutherford、D.A.Carter 和 M.J.Hague 在英国钢铁公司 Middlesbrough 的一个烧结厂对原料湿度作了模糊控制;英国剑桥大学的 R.Tong 将模糊控制用于英国钢铁公司 Battersea 的一台炼钢转炉;1980 年丹麦 Smidth F. L. 公司的水泥窑开始利用模糊控制自动运转,20 世纪 90 年代,我国留法学者达阮在法国实现了对原子能反应堆的控制……

日本最初的起步较晚,当欧美还有许多人持异议时,日本人开始发现了这一目标。从 1980 年开始,取得了地铁列车自动运转和自来水厂加药进行水净化处理等具体成果,并逐年有所突破和发展,甚至开始了以模糊计算机为基础之一的“下一代计算机计划”。

模糊信息处理除了在模糊控制方面的显著进展外,其它模糊信息处理方法和系统在

各种领域也在逐渐地开展。1983 年第一个实用化的模糊决策支援系统 Revasl, 由美国西海岸 AI (人工智能) 风险企业推出, 并运用于计算机的运行管理和饭店经营支援方面, 成绩显著; 1986 年在美国发表了模糊扩充了的 OPS5 来构筑模糊专家系统的外壳 FLOPS; 1987 年底英国发表了用模糊 Prolog 来构筑模糊专家系统的外壳 FRIC, 同年日本也发表了一些具有商业化水平的外壳; 20 世纪 90 年代我国学者建立了股市投资分析模糊决策模型。

目前模糊信息处理技术应用越来越广泛。

在工业过程控制方面, 已实现了石油、冶金、化工、机械制造及其它诸多方面的模糊控制。模糊控制技术已经成为复杂系统控制的一种有效手段, 大大拓宽了自动控制的应用范围。

在软科学方面, 模糊技术已用到了心理分析、投资决策、企业效益评估、区域发展规划、经济宏观调控、中长期市场模糊预测等领域。

在地震科学方面, 模糊技术已涉及到中长期地震预测、地震危险分析和潜在震源识别、地震灾害预测及减轻地震灾害对策等领域。

在公益事业方面, 有公共汽车线路运行图的生成、交通道路管理、供电线路故障区间推定、供水供电和供气管理监控、气象预测预报等应用成果。

在家电行业, 已经实现了模糊电饭煲、模糊洗衣机、模糊空调器、模糊电冰箱等十余种模糊家电产品, 给人们的生活带来了极大的方便, 取得了巨大的社会效益。

在人工智能与计算机高技术领域, 已经出现了模糊数据库、模糊推理机、模糊控制计算机、模糊专家系统、模糊语言识别系统、图形文字模糊识别系统、模糊控制机器人等高技术产品, 同时还出现在语音识别、机器人视觉等系统。

在军事及航空航天领域, 模糊技术已用于巡航导弹、指挥自动化系统、飞行器对接等方面。

在核工业方面, 在核反应堆的模糊控制方面取得了极大地成功。

在大系统方面, 如西气东输 SCADA 系统, 以电子战为背景的 C⁴I 系统等, 均有大量的模糊信息处理工作。这方面, 我国著名科学家钱学深曾于 20 世纪 80 年代提出了“开放的复杂巨系统”, 并指出从定性到定量的综合集成方法是解决这类系统问题的有力武器, 提出了从定性到定量的综合集成研讨厅体系, 将模糊逻辑作为强有力的工具。

新的世纪将是一个高度信息化的时代, 也就是知识时代, 以知识为题的许多问题, 诸如知识经济、知识产业、知识工人、知识管理、知识工程、知识网络等, 将成为研究的对象。特别是知识管理概念在近年来的兴起, 更极大地冲破了传统意义上人们对信息的认识与理解桎梏, 为知识经济时代企业面临的激烈竞争提供了无尽的动力源泉。知识管理, 被认为是企业竞争的发动机, 而其中, 模糊信息处理将扮演及其重要的角色。

目前, 就如同电子计算机的发展, 模糊信息处理已从纯理论走向软件化、硬件化。各种模糊集成电路即模糊芯片、模糊技术开发工具等模糊软、硬件产品相继出现, 模糊信息处理正越来越显示出其强大的生命力。

4. 模糊信息处理的特点

(1) 近似性

模糊信息处理符合人的基本思维方法,反映人的主观处理事物的能力。人的语言是用有限个符号集合进行有限的表现,而概念却超过这种表现。在用语言表现人的概念知识过程中,是用“近似”来处理。人的信息交流通常通过语言信息来进行,因此处理这种近似显得非常重要。而作为模糊信息处理的基础——模糊推理(近似推理),可以通过隶属函数来在概念和语言之间架起一座桥梁,通过它便可使用近似概念。这无疑使得从现场操作人员和专家那里获取知识,进而建立模糊规则和模糊专家系统等,显得更容易。

这种模糊逻辑主要针对的是用语言形式表示的模糊变量。一个最典型的例子是年龄问题,在年龄区间 $[0, 200]$ 上定义语言元素年轻、年老、比较年轻、既不年老又不年轻等,其中每个语言元素就是一个模糊子集,通过元素的组合和修饰,可以表现出极强的表达能力和一个庞大的语言集合。一个模糊变量是以这种语言元素的模糊子集为值。扎德用一个文法结构来生成这类语言元素。例如:

<年龄描述>::=<描述词>|<程度词><年龄描述>|<年龄描述><联结词><年龄描述>

<描述词>::=年老|年轻

<程度词>::=非常|相当|比较|不

<联结词>::=而且|或者

用它可以生成不少有意义的描述,这种语法描述一般说应当是上下文有关的,每个描述词相当于一个基本的模糊子集,每个程度词对应于模糊集上的一元运算,联结词相当于二元运算,利用这些运算可以把任一语言元素转化为一个模糊集。

在模糊语言逻辑研究的另一方面是如何将模糊集转换成语言元素,由于语言元素的可数性,无法同 $[0, 1]$ 上的全体模糊集一一映射。为此,扎德提出了语义近似的概念,通过定义两个模糊集之间的语义距离,当需要把模糊集解释成语言元素时,取语义上最接近该模糊集的那个模糊集所对应的语言元素。

(2) 非线性

对于处理开放的复杂的系统问题,比如在工农业生产、科技、军事、教育、文化等各领域存在着的大量非结构化问题,和既有结构化特点又有非结构化特点的问题,尤其是与人的主观因素作为主要目标的系统问题,用常规的由微分主程、积分方程建立数字模型显得非常困难,因为主观因素中,线性和非线性的区别不是本质的、必要的。而更多地是采用定性分析,紧耦合的定性到定量相结合的方式来解决。而模糊模型中常概括了非线性因素,往往使一些复杂的问题解决起来非常容易。

(3) 不同于随机性

在数学中描述量与量之间的途径通常有以下几条:

① 经典数学分析和集合论:描述度量确定性量。

② 概率论和数理统计:研究事先不能确定的随机性事件,但事件本身的含义是分明的。

③ 模糊数学:用数学方法来描述和研究具有模糊性的事物,解决本身概念(内涵、外延)都尚不明的事物,并定量地研究这些客观存在的模糊现象。首先提出了隶属函数,综合了事物的内涵和外延性态。

可见,模糊信息处理方法不同于概率统计法。模糊性和随机性都属于不确定性,且隶属度和概率都是在 $[0, 1]$ 之间取值,但两者概念全然不同。

随机性只是说明事物出现的可能性不确定,而事物本身的性质则是确定的,它的概念是明确的。如某产品质量分为三个等级,即一等品 a , 二等品 b , 三等品 c 。它们在产品中出现的概率分别为 $P(a) = 0.5$, $P(b) = 0.4$, $P(c) = 0.1$ 。显然各等级的出现是随机事件,但“ X 等品”的概念却明确,有具体的检验。

而我们说的“质量好”却是个模糊概念。在大多数场合,产品经过不同工艺流程,受到多种因素,特别是人为因素的影响,使得这些产品个体上总有这样或那样的差异,这就决定了它们属于“质量好”的隶属度不同,但又无具体精确的检验标准来对此作一一明确鉴别。我们可以大致说,一等品属于质量好的资格程度(隶属度)为 1,二等品属于质量好的资格程度为 0.7,三等品属于质量好的资格程度为 0.4,等外品的隶属度为 0.1,废品的隶属度为 0 等。

5. 模糊逻辑与人工神经网络

模糊逻辑和人工神经网络(以后简称神经网络)都是在模拟人脑,它们在人工智能这一目的上是一致的,但各自的研究方法却大相径庭。

模糊逻辑是模糊论的一个重要分支学科,模糊逻辑自产生以来就显示出其强大的生命力,在计算机控制、自然语言理解和机器翻译、专家系统、数据库及新一代计算机等方面和领域取得突出成就。

目前的电子计算机(冯诺依曼机)以布尔逻辑,即二值逻辑为基础。在二值逻辑中定义的逻辑命题为一个可以确定真假的有意义的句子。对一个命题来说,它只能是真或是假,两者必居其一。如果命题为真,则称命题的真值为“1”;如果命题为假,则称命题的真值为“0”。模糊逻辑和二值逻辑不同,属于非经典逻辑。模糊逻辑是一种实值逻辑及语言值逻辑。一个模糊命题是一个可以确定隶属度的句子,它的真值取 $[0, 1]$ 区间中的任何数。很明显,模糊命题是二值逻辑的扩展,而二值逻辑只是模糊逻辑的特殊情况;同时,作为一种语言值逻辑,使得命题的真值可以用自然语言来描述,语言值是以 $[0, 1]$ 区间为论域的模糊子集。

模糊逻辑更接近人的思维和认识,有着普遍的意义。模糊逻辑着眼于可用语言和概念表述的人脑的宏观功能。用模糊性的自然语言表示知识,通过反映语言和概念的隶属函数和一系列规则,运用逻辑推理来处理各种模糊性的信息。

神经网络意在模拟人脑生理的微观结构特性,特别是信息的分散表现,并行处理。由于人脑中的神经网络的结构和工作过程的复杂性,很多基本问题仍在研究之中。而人们提出的各种神经网络模型在本质上仅是一种数学假设和近似。但通过有自学习、自组织、自适应功能的人工神经网络上的非线性并行分散动力学,可直接对无法语言化的模式信息进行处理,也可将知识含于网络结构之中,并取得了成功。

用神经网络去解决人工智能问题,在知识的推理上还存在相当大的困难;而在知识的获取方面,模糊技术也显得有很强的依赖性。根据模糊逻辑和神经网络的各自长处,如果把它们结合起来,取长补短,无疑会在知识的获取和加工上开创新局面。从而产生一种目前最有效的人工智能研究方法,对人工智能的发展将产生巨大的作用。

事实上,在20世纪70年代中期,人们已在神经生理领域开始进行了神经网络与模糊理论结合的研究。为了说明神经细胞模型(亦神经元模型),曾经提出模糊自动机和模糊语言。这些研究包括把模糊集合及模糊集合运算用于神经元分类,描述神经元,描述神经元系统。

1988年,美国国家宇航局(NASA)召开了神经网络和模糊理论结合的国际会议。此后,人们真正开始注意神经网络和模糊理论结合的研究。1990年,日本著名的神经网络专家甘利俊一在“Computer Today”杂志上发表了文章,对神经网络和模糊技术结合给予了很高的评价。

神经网络和模糊技术的结合可以从以下方面着手:一方面,模糊推理是在各模糊语言元素的隶属函数不变的情况下进行的。而事物总是变化的,因此,这样的推理就显得不尽人意。为了使模糊推理能适应情况的变化,需要智能系统具有改变模糊语言元素的隶属函数的能力。另一方面是系统应具有改变模糊规则的能力。虽然改变了隶属函数也就改变了模糊规则,而改变模糊规则还可以通过改变推理语句的前件结构及后件结构以及模糊规则的信任程度来实现。

一种方法是把神经元模型改进成为模糊神经元模型。在模糊神经元模型中,使用不同层模糊神经元之间的连接方式来表示隶属函数和模糊规则,网络结构中的连接权值最初可来自模糊规则;将组织好的模糊神经网络用于实际系统可进一步自动的修正权值,以更好的反映实际系统。而修正后的模糊神经网络实质上是一个求精的模糊模型,由此可将优化后的模糊知识提取出来。

模糊技术和神经网络的结合还有各种各样的研究。模糊技术与神经网络结合是把心理推理和生理推理结合,把抽象与具体结合的研究,这种研究打破了过去人们所进行的各种学科在逻辑上的封闭性,从而使人工智能步入一个开放的充满生机的殿堂。

习 题

1. 什么是数据、信息、知识、智慧?它们相互间是什么关系?
2. 列举几个确定性概念和模糊概念。
3. 列举几个基于模糊的不确定性示例和基于概率的不确定性示例。
4. 在你的日常生活、学习和工作中,举出运用了模糊信息处理的示例,并说明。

第 1 章 模糊集合

1.1 模糊子集及其运算

1.1.1 模糊子集定义

我们已经知道, 一个概念的外延如果是不明确的、边界不清的, 这个概念就是一个模糊概念, 换句话说这一概念所对应的集合是模糊的。

定义 1.1.1 如果在论域 U 中存在着并非绝对属于某集合的元素, 或者说存在着不同程度的属于或不属于该集合的元素, 这种集合便称为模糊集合。

在经典数学中集合可用特征函数来表示, 论域 U 中的元素 $\forall x \in U$ 属于普通集 P , 则特征函数 $X_P(x)=1$, 否则 $X_P(x)=0$ 。对于模糊集合来说, U 中存在不同程度属于一模糊集的元素, 如果要借用特征函数的说法, 则要做些改造。比如, 有的元素属于该模糊集合的程度大, 其“特征函数”就应靠近 1, 反之靠近 0。显然此“特征函数”的取值就不再是 $\{0, 1\}$, 而是在整个 $[0, 1]$ 闭区间。Zadeh 教授的贡献之一便是提出了这一观点。下面给出模糊子集的定义。

定义 1.1.2 所谓给定论域 U 上的一个模糊子集 A , 就是给定论域 U 到区间 $[0, 1]$ 的一个映射。

$$\begin{aligned} \mu_A : U &\rightarrow [0, 1] \\ u &\mapsto \mu_A(u) \in [0, 1] \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

映射 μ_A 叫做模糊子集 A 的隶属函数 (又称资格函数), $\forall u \in U$ 对应着一个确定值 $\mu_A(u) \in [0, 1]$, 该值 $\mu_A(u)$ 叫做 $u \in U$ 对 A 的隶属度。

显然, 当 $\mu_A(u)$ 的值域变为 $\{0, 1\}$ 时, A 就退化为普通子集, μ_A 就变成 X_A , 故称普通子集是模糊子集的一个实例, 而模糊子集是普通子集的一般化。见图 1.1.1。

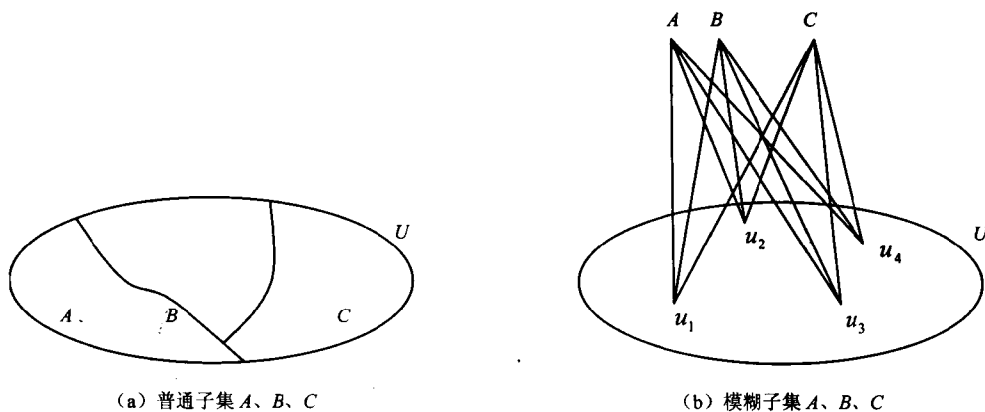


图 1.1.1 普通子集与模糊子集