



智能科学技术著作丛书

不确切性信息处理原理

廉师友 著



科学出版社
www.sciencep.com

智能科学技术著作丛书

不确切性信息处理原理

廉师友 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

不确切性信息处理是智能科学技术的重要组成部分。本书以全新的思路和方法,揭示了不确切性信息的由来,建立了一个有别于传统模糊集理论和技术的不确切性信息处理理论和技术体系,为相关应用提供了技术平台,为进一步研究奠定了理论基础。

本书可供智能、信息、计算、自动化、逻辑、语言、数学和脑及认知等学科或专业方向的科学研究和工程技术人员参阅,也可作为相关专业方向的研究研究生和高年级本科生的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

不确切性信息处理原理/廉师友著. —北京:科学出版社,2009

(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-025530-3

I. 不… II. 廉… III. 信息处理-理论 IV. G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 160309 号

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 9 月第一次印刷 印张: 32 1/2

印数: 1—2 500 字数: 624 000

定价: 88.00 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》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。

1956年,“人工智能”学科诞生,50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、新产品的发展方向和显著标志。

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

经过 50 余年的探索,人工智能技术已经有了长足的进步和发展。在今后的人工智能中,不确切性(imprecision)信息处理将扮演越来越重要的角色。智能技术的进一步发展必然涉及自然语言处理,而自然语言处理又必然涉及不确切性信息处理。事实上,不确切性信息在人类的自然语言中几乎处处存在,不确切性信息的出现本身就是人类智慧的一种体现。另一方面,在当前的许多智能技术和智能工程领域中不确切性信息处理已经发挥了和正在发挥着不可替代的重要作用。

关于不确切性信息处理,国内外许多学者都在进行研究,而且取得了不少成果,其中最著名的学者和最突出的成果应首推美国的 Zadeh 教授和他开创的模糊集(fuzzy set)理论。事实上,自从 1965 年 Zadeh 提出模糊集合的概念以来,以模糊集合为基础的不确切性信息处理技术迅速发展,并取得了不少成绩。然而,时至今日基于模糊集理论的不确切性信息处理仍有许多理论和技术问题没有得到很好解决。为此,近年来国内外不少学者都致力于模糊集理论的改进和发展,提出了许多新见解、新理论和新方法。这些理论和方法各有千秋,都有独自の视角和特色。但总体来讲,大家的认识还未统一,不确切性信息处理仍然是一个需要认真研究的重大课题。

经过多年的潜心钻研,作者发现,信息的不确切性源于客观事物的均匀连锁相似现象和人脑对此的软聚类处理方式。于是,作者从不确切性信息的客观基础出发,揭示其形成原理;然后以此为依据,建立相关的数学模型;进而全面探讨和揭示不确切性信息处理的原理和方法;结果得到了一系列有别于传统模糊技术的新理论和新方法,形成一个新的不确切性信息处理理论和技术体系。本书也可看做是对模糊技术的一种“修正”和补充。但本书并未沿用传统的思维模式在模糊集理论的已有框架内进行修补,而是以新的视角和思路,推本溯源,对不确切性信息处理进行研究和探讨。

事实表明,不确切性是不同于不确定性(uncertainty)的另一种独立的信息属性,现在所称的“模糊性(fuzziness)”实际上是一种不确切性。因此,本书明确地提出了不确切性信息与不确切性信息处理的概念,明确地将传统模糊集理论划归为不确切性信息处理的范畴。事实上,不确切性信息处理同不确定性信息处理一样,也是人工智能技术不可或缺的重要组成部分。

早在 20 世纪 90 年代初,作者在建造专家系统时,因对 Zadeh 的 CRI 模糊推理产生疑问就开始了“模糊”问题的思考,并于 1997 年获得了陕西省自然科学基金的资助。在此期间作者开始认识到客观事物的相似现象是造成信息“模糊”的客

观原因,提出了“程度逻辑”和“程度推理”等概念和方法,并于2000年出版了《程度论》一书,总结了自己的研究成果。之后作者在该方向继续探索并进一步认识到:信息的模糊性源于客观事物的均匀连锁相似现象和人脑对此的软处理方式;现有模糊集的定义对于描述“模糊概念”来讲显得有些空泛,“模糊概念”应该称为“软概念”等。于是,作者便从软概念及其客观基础和形成原理出发,重新推导其数学模型,结果发现:软概念不仅有外延模型,还可以有内涵模型,而且导出了二者的一般表达式;随后又发现了命题的逻辑语义和规则的数学本质。这一系列的新发现和新进展,使作者更加坚定了在这一领域继续钻研的信心和决心,故虽艰难颇多,但最终还是完成了本书的写作。

本书对不确切性信息处理进行了系统、全面的研究和探讨,内容涉及智能科学和信息科学的诸多领域,甚至还触及相关的历史论题和当前的热点课题。全书分为八篇21章。首先分析软概念的形成过程,揭示不确切性信息的产生原理;接着从软概念的外延和内涵两个方面出发,建立相应的软集合理论和软语言值理论;进而以此为基础,建立相应的逻辑理论和推理、计算技术。接着归纳了不确切性问题求解和知识发现的基本问题和方法,阐述了各类问题的求解原理,提出了一些新的技术构想。进而又分析和处理不确切性与不确定性的交叉现象和问题,进一步揭示和理顺了二者的关系。最后讨论了两个相关议题,并展望了进一步的研究方向与课题。从结构来讲,第一篇是导引,第二篇是源本,第三篇是基础,第四、五篇是主体,第六篇是应用(接口),第七篇是交叉,第八篇是边缘。其层次关系如下图所示。

本书重在澄清概念,揭示本质,阐明原理,理顺关系,为进一步研究和应用奠定理论基础和构建技术平台。事实上,基于本书就可直接开发相关应用,也可展开进一步研究。

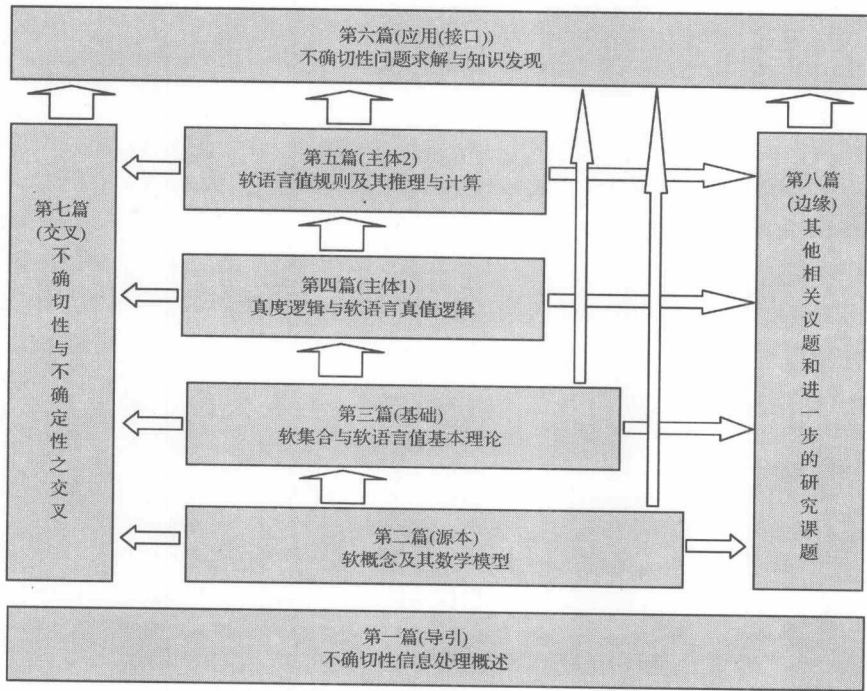
本书的写作得到中国人工智能学会荣誉理事长、《智能科学技术著作丛书》主编涂序彦教授的热情支持和指导,丛书编委会秘书长韩力群教授给予了大力协助,首都师范大学王万森教授审阅了部分书稿,给予了肯定和支持,西安交通大学李增智教授对本书的写作也给予了关心和鼓励,我的研究生曾兰同学绘制了部分插图,清华大学的徐硕老师在MATLAB绘图方面给予了热心帮助。在此谨向以上各位表示衷心感谢!

同时还要感谢西安石油大学优秀学术著作出版基金和计算机应用技术重点学科对本书出版的资助。

由于本人水平有限,书中的不足和欠妥之处在所难免。恳请有关专家、学者不吝赐教,也希望广大读者批评指正。

廉师友(lsy7622@126.com)

2009年7月于西安



《不确切性信息处理原理》内容体系结构

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第一篇 导引

第 1 章 不确切性信息处理概述	3
1.1 何为不确切性信息	3
1.2 不确切性信息的由来	4
1.2.1 软概念与不确切性信息	4
1.2.2 事物性状的连续分布与均匀连锁相似	4
1.2.3 人脑对均匀连锁相似对象进行软聚类	5
1.2.4 不确切性信息的由来图解	6
1.2.5 人脑的聚类概括本能和天然的分類机制与软概念	7
1.2.6 软概念与模糊概念辨析	9
1.3 不确切性与不确定性之区别.....	10
1.4 不确切性信息处理涉及的学科领域.....	11
1.4.1 不确切性信息处理与信息科学技术	11
1.4.2 不确切性信息处理与智能科学技术	11
1.4.3 不确切性信息处理与逻辑学	11
1.4.4 不确切性信息处理与语言学	12
1.4.5 不确切性信息处理与脑科学和认知科学	12
1.4.6 不确切性信息处理与生命科学	12
1.4.7 不确切性信息处理与数理科学	12
1.5 不确切性信息处理的研究内容.....	13
1.5.1 不确切性信息基本原理	13
1.5.2 不确切性信息处理基本技术	13
1.5.3 不确切性信息处理工程应用	14
1.5.4 进一步的研究课题	14
1.6 不确切性信息处理的研究概况.....	14
1.7 本书的工作与结果.....	16

第二篇 软概念及其数学模型

第 2 章 1 维均匀实数空间上的软概念及其数学模型	23
2.1 对象、特征、特征值与实数空间	23
2.2 1 维实数空间 $[a, b]$ 上的相似度及其叠加原理	24
2.3 空间 $[a, b]$ 的均匀性与客观划分	26
2.4 空间 $[a, b]$ 上的软聚类与软概念	28
2.4.1 $[a, b]$ 上的软聚类与软类	28
2.4.2 软概念的生成	30
2.5 软概念的外延模型	31
2.5.1 核与支持集	31
2.5.2 隶属函数	31
2.6 软概念的内涵模型——相容函数	35
2.7 隶属函数与相容函数的联系和区别	38
2.8 本章小结	40
第 3 章 多维均匀实数空间上的软概念及其数学模型	41
3.1 多维均匀实数空间的特点与软聚类	41
3.2 基于坐标分量的软聚类	42
3.3 基于点的软聚类	45
3.3.1 软块和软点块	45
3.3.2 软点、软圆和软球	48
3.3.3 软块与软球概念的区别	52
3.4 基于线的软聚类, 软带、软线和软绳	52
3.5 基于面的软聚类, 软板和软面	57
3.6 关系软类与关系软概念	59
3.7 本章小结	64

第三篇 软集合与软语言值基本理论

第 4 章 软集合基本理论	67
4.1 软集合及其特性	67
4.1.1 软集合的定义	67
4.1.2 几种与软集有关的集合	68
4.2 软集合与模糊集合	69
4.3 软集合与粗糙集合	70
4.4 软集的关系	71

4.5	软集的运算	73
4.5.1	n 维软子集的运算	73
4.5.2	多维空间上的正交软集运算	78
4.6	软集的笛卡儿积集	83
4.7	软集的规模与份额	86
4.7.1	集合的规模	87
4.7.2	软集的规模	89
4.7.3	集合的份额	92
4.7.4	软集的份额	95
4.7.5	份额的公理化定义	97
4.7.6	份额运算与份额代数	97
4.7.7	扩展核的规模和份额	98
4.8	软集的包含度	99
4.8.1	集合包含度的定义	99
4.8.2	软集包含度的定义	99
4.8.3	包含度的基本性质	100
4.8.4	包含度与份额的关系	100
4.9	软集的软度	100
4.10	软关系与软函数	101
4.11	软区间数及软数	103
4.12	本章小结	105
第5章	软语言值基本理论	106
5.1	软语言值的类型	106
5.2	空间软划分与基本软语言值	108
5.2.1	1维空间的软划分与基本软语言值	108
5.2.2	多维空间的软划分与基本软语言值	109
5.2.3	基本语言值的扩充与归约	110
5.3	同特征软语言值的逻辑运算	110
5.3.1	合取值与析取值	111
5.3.2	否定值与程度守1性原理	112
5.4	软语言值的合成与分解	113
5.4.1	逻辑合成与分解,组合语言值	113
5.4.2	代数合成与分解,综合语言值	115
5.5	对软语言值合成与分解的进一步分析	118
5.5.1	基于内涵的异特征语言值合成与分解	118

5.5.2	基于外延的同特征语言值合成与分解	120
5.5.3	特征树及其语言值网络	121
5.5.4	分类树及其语言值网络	124
5.6	互否语言值与互反语言值	126
5.6.1	互否语言值、程度互补性和中等点	126
5.6.2	互反语言值、程度互反性和中性点	128
5.6.3	互否与互反的相互转换	132
5.6.4	互否与互反的判定、性质及其集合特征	133
5.7	软语言值之间的关系	136
5.7.1	互补关系和互斥关系	136
5.7.2	合-分关系和从属关系	140
5.7.3	包含关系和同位关系	141
5.7.4	相似关系和近似关系	141
5.7.5	近似的归约和方位	143
5.8	程度语言值与叠合语言值	144
5.8.1	程度语言值	144
5.8.2	叠合语言值	145
5.8.3	叠合语言值与原值的关系	145
5.8.4	叠合语言值相容函数的间接求法	146
5.9	本章小结	149
第6章	隶属/相容函数的确定与求取	151
6.1	直接隶属/相容函数和复合隶属/相容函数	151
6.2	直接隶属/相容函数的确定	152
6.3	复合隶属/相容函数的求取	153
6.3.1	空间变换法	153
6.3.2	语言值分解法	155
6.3.3	变量替换法	156
6.4	近似类软概念的隶属/相似函数	157
6.5	本章小结	161

第四篇 真度逻辑与软语言真值逻辑

第7章	软命题与真度逻辑	165
7.1	软命题的表示与真值	165
7.1.1	软命题及其形式化表示	165
7.1.2	软命题的数量真值——真度	166

7.2	复合软命题的形式化表示和真度计算	168
7.2.1	所有关系形式表示和内涵-真度计算	168
7.2.2	所属关系形式表示和外延-真度计算	170
7.2.3	基于支命题真度的间接计算	174
7.2.4	软命题的真度域及其对称性原理	177
7.3	综合软命题及其形式化表示和真度计算	177
7.4	真度逻辑代数	179
7.4.1	外延-真度逻辑代数	179
7.4.2	内涵-真度逻辑代数	179
7.4.3	真度逻辑式与真度逻辑函数	180
7.5	真度命题逻辑与程度谓词逻辑	181
7.5.1	真度命题公式	181
7.5.2	程度谓词公式	183
7.5.3	真度逻辑的限制	184
7.6	本章小结	186
第8章	软语言真值逻辑及其推理	187
8.1	软命题的语言真值——偏真和偏假	187
8.2	数量真值到软语言真值的转换	188
8.3	软二值逻辑运算与软逻辑代数	189
8.4	命题的逻辑语义	191
8.5	基于逻辑语义的复合软命题语言真值定义和计算模型	192
8.6	所属关系和所有关系的真域	194
8.7	基于逻辑语义和真域的复合软命题表示	195
8.8	真度逻辑、软二值逻辑和传统二值逻辑的关系	198
8.9	软命题逻辑与软命题推理	199
8.9.1	软命题公式	199
8.9.2	永偏真式与软逻辑蕴涵	201
8.9.3	软推理规则	203
8.9.4	软命题推理	204
8.9.5	软形式系统	205
8.10	软谓词逻辑与软谓词推理	205
8.10.1	软谓词公式	205
8.10.2	软三段论推理	205
8.10.3	基于软三段论的近似推理	207
8.11	多语言真值逻辑及其推理	209

8.11.1	永偏真的可分性与语言真值的划分	209
8.11.2	多值逻辑运算与多值逻辑代数	210
8.11.3	多值逻辑推理	213
8.12	含“中”多值逻辑	218
8.13	软命令逻辑	219
8.14	本章小结	220
第9章	互否逻辑与互反逻辑	221
9.1	互否逻辑	221
9.2	互反逻辑及其推理	221
9.2.1	有反命题及其真度	221
9.2.2	复合有反命题的真度计算	222
9.2.3	互反真度逻辑	224
9.2.4	互反真度逻辑与互否真度逻辑的关系	224
9.2.5	互反语言真值逻辑及其推理	225
9.2.6	互反多值逻辑及其推理	228
9.2.7	有反命题与互反、互否逻辑	229
9.3	互否、互反真度逻辑特性小结	229
9.4	离散真度逻辑分析	231
9.4.1	二值真度逻辑	231
9.4.2	三值真度逻辑	232
9.4.3	偶多值真度逻辑	233
9.4.4	奇多值真度逻辑	234
9.5	互否、互反语言真值逻辑特性小结	235
9.6	逻辑系统的分类、特性与关系总结	237
第10章	程度化语言真值逻辑	240
10.1	程度化语言真值与程度逻辑运算	240
10.2	程度逻辑代数	241
10.3	程度逻辑运算的归约	251
10.4	本章小结	254

第五篇 软语言值规则及其推理与计算

第11章	软语言值规则及其数学本质	257
11.1	何为软语言值规则	257
11.2	软语言值规则的类型	258
11.3	软语言值规则的真域与逻辑语义	264

11.4	软语言值规则的数学背景与数学本质	266
11.4.1	性质-性质规则的数学背景与数学本质	266
11.4.2	其他各类规则的数学背景与数学本质	270
11.5	软语言值规则的变换与归约	274
11.6	软语言值规则的“关系”辨析	275
11.7	本章小结	277
第12章	软语言值规则的三重函数	278
12.1	软语言值规则所隐含的函数关系	278
12.2	规则的三重函数分析	279
12.3	规则函数空间分析	281
12.4	获取规则近似函数的思路和方法	284
12.5	合取型和析取型规则近似程度函数构造及参考模型	284
12.5.1	近似隶属-程度函数构造及参考模型	284
12.5.2	近似相容-程度函数构造及参考模型	287
12.6	合取型和析取型规则近似真度函数构造及参考模型	291
12.6.1	近似外延-真度函数构造及参考模型	291
12.6.2	近似内涵-真度函数构造及参考模型	292
12.7	合取型和析取型规则近似测度函数构造及参考模型	294
12.7.1	近似相容-测度函数构造及参考模型	294
12.7.2	近似隶属-测度函数构造及参考模型	301
12.8	综合型规则的近似函数	303
12.9	多维语言值规则的近似函数	305
12.10	由程度函数导出测度函数	312
12.11	规则的近似测度-程度函数	313
12.12	规则近似函数的优化	314
12.13	有反语言值规则的三重函数	315
12.14	本章小结	316
第13章	基于软语言值规则的推理和计算	318
13.1	程度推理	318
13.1.1	单条件规则程度推理	318
13.1.2	多条件规则程度推理	319
13.2	具有预处理或再处理的程度推理	322
13.2.1	预处理和再处理	322
13.2.2	有数据转换接口的程度推理	323
13.3	基于程度推理的近似推理	324

13.4	基于程度推理的近似计算	325
13.5	程度推理的应用模式总图	326
13.6	真度推理	327
13.6.1	单条件规则真度推理	327
13.6.2	多条件规则真度推理	328
13.7	基于规则测度函数的近似计算及逻辑计算	329
13.8	软推理原理小结	330
第14章	基于语言值函数近似求值的近似推理和计算	332
14.1	近似推理的数学本质	332
14.2	近似推理的问题和思路	332
14.3	近似推理的AD方法	337
14.4	规则的近似测度函数	340
14.5	AD方法的合理性与有效性分析	342
14.6	多条件规则近似推理	343
14.6.1	多条件规则近似推理的模式	343
14.6.2	多条件规则近似推理的数学本质	344
14.6.3	多条件规则近似推理的问题和思路	344
14.6.4	多条件规则近似推理的AD方法和近似函数	346
14.7	多规则近似推理	349
14.8	本章小结	350

第六篇 不确切性问题求解与知识发现

第15章	不确切性问题求解	353
15.1	不确切性问题及其求解	353
15.1.1	涉及不确切性信息的问题	353
15.1.2	不确切性问题求解基本方式和基本技术	354
15.2	数量值与语言值的相互转换	354
15.3	基于隶属函数的软归类	356
15.3.1	软归类的判别函数和判决规则	357
15.3.2	软模式识别示例	358
15.4	基于相容函数的软评判	361
15.4.1	软评判的相关概念	361
15.4.2	数值评价函数和语言值评价函数	361
15.4.3	判决函数和判决规则	363
15.4.4	指标体系与评判模型的设计	364

15.5	进一步理解软概念	365
15.5.1	从软聚类到软归类	365
15.5.2	先软后硬的意义	366
15.5.3	软处理与复杂性	367
15.6	软规划问题求解	368
15.7	基于软语言值规则推理的问题求解	370
15.7.1	软语言值规则系统	370
15.7.2	基于软语言值规则系统的问题求解	372
15.7.3	基于规则的软归类和软评判	372
15.7.4	基于规则的软决策	374
15.7.5	软控制原理及示例	375
15.8	关于软概念和软命题机器理解与生成的几点构想	381
15.8.1	基于知识库的软概念机器理解	381
15.8.2	基于面向对象程序的软概念机器生成与运用	382
15.8.3	命题表达方式的变换	383
15.9	本章小结	384
第 16 章	基于软集合的知识发现与机器学习	385
16.1	基于软集合的聚类分析	385
16.2	基于软集合的软语言值规则发现	388
16.3	利用软集实现函数拟合的一些构想	389
16.4	本章小结	391
第 17 章	程度化信息处理	392
17.1	程度化语言值	392
17.2	基于程度化语言值的知识表示	394
17.3	程度化关系型数据库	396
17.4	均匀硬集的相容函数	400
17.5	本章小结	401
第七篇 不确切性与不确定性之交叉		
第 18 章	软事件的概率,软命题的信度和双重程度推理	405
18.1	软事件的概率与概率上的软语言值	405
18.1.1	软随机事件	405
18.1.2	基于均匀分布型随机变量的软事件概率	405
18.1.3	基于非均匀分布型随机变量的软事件概率	408
18.1.4	扩展核上的概率——软事件的实际概率	408