

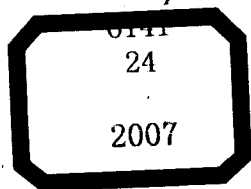
基于包含度的不确定推理

Uncertainty Reasoning Based on Inclusion Degree

张文修 梁 怡 徐 萍 编著

Zhang Wenxiu Liang Yi Xu Ping





基于包含度的不确定推理

Uncertainty Reasoning Based on Inclusion Degree

张文修 梁 怡 徐 萍 编著

Zhang Wenxiu Liang Yi Xu Ping

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以作者提出的包含度理论为指导,对不确定推理这一人工智能研究中最活跃的研究领域的定量方法进行了系统的概括.其中前3章分别为:指出研究不确定推理的原理和方法的绪论,构成全书的数学基础的测度与信息,建立全书的一般方法和框架的包含度理论.其他5章是以包含度理论为基本原理,系统地概括概率推理、证据推理、模糊推理、信息推理与计算推理,其中第7章还包括假设生成的方法与修正的方法.

本书可作为研究人工智能和专家系统中不确定推理的参考书,也可作为应用数学、计算数学、系统科学、管理科学等专业的研究生教材.

版权所有,侵权必究.侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

基于包含度的不确定推理/张文修,梁怡,徐萍编著. —北京:清华大学出版社, 2007.3

(不确定理论与优化丛书)

ISBN 978-7-302-14455-7

I. 基… II. ①张… ②梁… ③徐… III. 不确定度-逻辑推理 IV. O141

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第164582号

责任编辑:刘颖 王海燕

责任校对:刘玉霞

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地址:北京清华大学学研大厦A座

邮编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印刷者:北京四季青印刷厂

装订者:三河市兴旺装订有限公司

经销:全国新华书店

开本:170×230

印张:18.25

字数:355千字

版次:2007年3月第1版

印次:2007年3月第1次印刷

印数:1~3000

定价:29.80元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换.联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:024068-01

不确定理论与优化丛书

在运筹学、管理科学、信息科学、工业工程、航天技术以及军事等众多领域都存在人为的或客观的不确定性,表现形式也多种多样,如随机性、模糊性、粗糙性以及多重不确定性.辩证地讲,不确定性是绝对的,确定性是相对的.不确定理论与优化不仅具有学术价值,而且具有广阔的应用前景.为了促进不确定理论、不确定规划、算法及应用的学术交流与发展,清华大学出版社决定出版《不确定理论与优化丛书》.本丛书将在编委会的指导下遴选书稿,指导思想是突出学术性、创新性、实用性,既出版有独到见解的学术专著,又出版实用案例分析和研究生教材.如您希望您的著作加入本丛书,请向编委会垂询. <http://orsc.edu.cn/use>

丛 书 编 委 会

刘宝碇 (主编)

清华大学数学科学系

北京 100084

liu@tsinghua.edu.cn

刘 颖 (责任编辑)

清华大学出版社

北京 100084

liuy@tup.tsinghua.edu.cn

蔡开元 (北京航空航天大学)

曹炳元 (汕头大学)

哈明虎 (河北大学)

胡包钢 (中国科学院)

李洪兴 (北京师范大学)

李 军 (东南大学)

李少远 (上海交通大学)

李寿梅 (北京工业大学)

刘 克 (中国科学院)

刘彦奎 (河北大学)

陆 玫 (清华大学)

宋考平 (大庆石油学院)

唐加福 (东北大学)

唐万生 (天津大学)

吴从炘 (哈尔滨工业大学)

汪定伟 (东北大学)

汪寿阳 (中国科学院)

王熙照 (河北大学)

谢金星 (清华大学)

徐玖平 (四川大学)

应明生 (清华大学)

张汉勤 (中国科学院)

张文修 (西安交通大学)

张 强 (北京理工大学)

不确定理论与优化丛书

Uncertainty Theory and Optimization Series

本丛书已出版书目:

- 第 1 卷:《不确定规划及应用》 刘宝碁, 赵瑞清, 王纲
- 第 2 卷:《不确定多属性决策方法及应用》 徐泽水
- 第 3 卷:《实用马尔可夫决策过程》 刘克
- 第 4 卷:《多目标决策的理论与方法》 徐玖平, 李军
- 第 5 卷:《不确定理论教程》 刘宝碁, 彭锦
- 第 6 卷:《基于粗糙集的不确定决策》 张文修, 仇国芳
- 第 7 卷:《多属性决策的理论与方法》 徐玖平, 吴巍
- 第 8 卷:《基于包含度的不确定推理》 张文修, 梁怡, 徐萍

前 言

不确定推理是人工智能研究中最活跃的研究领域之一,也是计算机智能系统走向实用化的关键技术. 40 年来,有一批科学家致力于不确定推理的研究,提出了许多不确定环境下的推理方法. 像 Shortliffe 和 Buchanan 提出的不确定因子方法, Duda 提出的概率逻辑等. 后来, Dempster 和 Shafer 提出了证据推理方法, 以及以 Zadeh 提出的模糊集为基础, Dubois 和 Prade 给出的可能度推理方法. 在我国, 不确定推理研究也取得了重要成果, 特别是胡国定教授提出的信息推理以及王国俊教授提出的计量逻辑学等都属于不确定推理方法.

不确定推理有定性推理与定量推理. 定性推理通过研究系统结构、行为和功能及其关系, 给出因果关系解释. 自 1977 年 Reiter 发表了第一篇研究论文后, 定性推理已成为人工智能的一个重要方向. 不确定推理的定量方法, 是通过给出命题的数值计算给出因果关系的数值趋势. 它首先需要对不确定信息进行表示和度量, 不同的信息表示方法与度量方法即构成不同的不确定推理. 多年来, 我们在对于不确定推理已有的方法研究中发现, 所有方法的共同点是有一种测度来度量假设, 这种测度可以是各种特殊的模糊测度, 而不确定推理的实质是一种广义的包含关系. 基于这种认识, 我们提出了包含度概念. 在香港中文大学与计算机科学系梁广锡博士和环境研究中心梁怡博士合作期间, 我们进一步明确了包含度的概念, 完善了这一理论, 建立了包含度理论体系. 逻辑上和实践上都证明了包含度理论是对已有的各种不确定推理的概括和抽象. 包含度理论不仅简洁、概括、广泛, 而且便于进行信息的合成、传播和修正, 特别是在各种关系数据库中有着直接的应用. 包含度理论为不确定推理的理论研究提供了一般的方法, 对产生新的不确定推理有着明显的指导作用. 同时, 如本书中某些研究结果所显示的那样, 包含度理论对研究专家系统中的其他重要问题, 如知识的获取, 规则的协调性以及矛盾规则的排除, 都是提供了一种非常有效的方法. 包含度理论不仅是研究不确定推理的一般理论, 而且是研究不确定性现象的方法学.

需要特别说明的是, 不确定推理的研究仅仅是人们思维活动规律研究的一小部分. 人们通过实践和思维活动, 不断地产生假设和证明假设. 证明假设多用演绎推理, 而产生假设却是非演绎推理. 不确定推理仅仅是对产生假设的一种评价, 是非演绎推理的一个组成部分. 因此, 思维科学的研究, 即对人类思维活动规律的全面研

究,将是一件困难而又有意义的事情,需要通过相当长的历史时期来完成这一艰巨的使命.当我们完成这本书的时候,才越来越感到所涉及的研究方面和研究深度如此不足.

本书是在 10 年前由西安交通大学出版社出版的《不确定性推理原理》的基础上修订完成的.各章节进一步突出了包含度理论与方法,改写了部分内容,使包含度应用更加突出.同时增加了一些章节,特别是增加了最后一章“计算推理”.这一章内容源于王国俊教授提出的“计量逻辑学”,为了使该内容与本书协调,且为广大工程技术人员应用,摒弃了原文的语构理论,利用包含度理论与方法实现计算推理.因此我们特别要感谢王国俊教授同意改写他当时还没有发表的文章.

近年来,粗糙集与概念格理论受到普遍重视,而包含度理论与方法也作为研究粗糙集与概念格的重要方法为许多学者所应用,特别是梁吉业教授、李德玉教授、吴伟志教授、米据生教授、仇国芳博士、张梅博士等灵活地利用包含度理论与方法解决了粗糙集与概念格研究中的许多重要问题,他们的研究成果进一步丰富了本书的内容,因此同样向他们表示真诚的感谢.最后感谢博士生马建敏和李同军在整理本书过程中付出的辛勤劳动.

本书可以作为人工智能研究者的参考书,也可以作为决策管理人员的工具书,以及管理科学、系统工程、计算机科学、应用数学专业研究生的教学用书.本书希望得到广大读者的批评指正,以便进一步修改完善.

张文修 梁怡 徐萍
2006 年 10 月于西安

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能及其推理特征.....	1
1.2 常识推理的基本内容.....	2
1.3 不确定推理原理与方法.....	4
1.4 本书的结构.....	6
第 2 章 测度与信息	7
2.1 经典集合与模糊集合.....	7
2.2 粗糙集与随机集.....	10
2.3 模糊测度及其性质.....	14
2.4 概率测度与贝叶斯公式.....	18
2.5 信任测度与似然测度.....	23
2.6 可能性测度与必然性测度.....	33
2.7 模糊测度各类之间的关系.....	39
2.8 不确定性度量与信息.....	43
第 3 章 包含度理论	50
3.1 包含度的定义及其性质.....	50
3.2 包含度的生成方法.....	56
3.3 相似度及其在专家系统检索中的应用.....	66
3.4 包含度在关系数据库中的应用.....	72
3.5 包含度在形式背景中的应用.....	80
3.6 蕴涵度及其在不确定推理中的应用.....	84
3.7 专家系统中证据的合成、传播与修正.....	88
3.8 关系数据库的随机集表示.....	93
第 4 章 概率推理	98
4.1 概率推理原理.....	98

4.2	贝叶斯网络概率推理	102
4.3	主观贝叶斯概率推理	107
4.4	主观贝叶斯概率推理的讨论	113
4.5	主观概率推理的包含度方法	118
4.6	MYCIN 确定因子概率推理方法	121
4.7	MYCIN 确定因子的模糊扩张	127
4.8	概率推理的区间估计	132
第 5 章	证据推理	141
5.1	证据推理原理	141
5.2	关于证据推理的进一步讨论	147
5.3	证据推理模式	151
5.4	形式背景上的证据推理	155
5.5	模糊形式背景上的证据推理	162
5.6	随机关系数据库上的证据推理	167
5.7	基于随机集的证据推理	170
5.8	基于粗糙集的证据理论	172
第 6 章	模糊推理	179
6.1	模糊推理原理	179
6.2	宏观模糊推理	182
6.3	微观模糊推理	189
6.4	Mamdani 模糊推理	196
6.5	Lukasiewicz 多值逻辑的模糊化	202
6.6	Mamdani 模糊真值推理	206
6.7	Mamdani 模糊推理的神经网络算法	209
6.8	模糊规则的协调性与矛盾规则的排除	213
第 7 章	信息推理	218
7.1	信息推理原理	218
7.2	合情推理信息模型	222
7.3	概率命题的合情推理	229
7.4	关系数据库上的合情推理	236
7.5	关系数据库上的知识约简	240
7.6	假设生成与创新思维	242

7.7 默认推理的包含度解释	246
7.8 知识库的维护与修正	248
第 8 章 计算推理	252
8.1 计算推理原理	252
8.2 单位区间上的正则蕴涵算子	252
8.3 命题格以及命题格上的包含度	257
8.4 命题格上的真度理论	260
8.5 命题格上的计算推理理论	262
8.6 命题格上的近似推理	267
参考文献	269
常用符号	277
索引	278

第1章 绪 论

人工智能是近 30 多年来计算机科学的一个重要的研究领域,受到各个方面科学家的广泛重视.而人工智能的推理研究又是最为活跃的研究方向之一.计算机的设计基于“非此即彼”的古典逻辑,本质上是采用演绎推理的功能,这种推理是一种“保真”的推理.而真正模拟人的思维活动的智能计算机,都是实现某种“合情”的推理,因此它是一种近似推理.这样,就需要研究某种“非单调性”和“非协调性”,即具有某种“容错”性,部分地描写了思维过程的不确定性的推理.人工智能的整个发展过程就伴随着不确定推理的研究过程.

1.1 人工智能及其推理特征

“人工智能”这一术语是在 1956 年由 McCarthy 和 Minsky 等人发起的关于用机器模拟智能的学术讨论会议上提出的,这标志着人工智能这一学科的正式诞生.

美国麻省理工学院 (MIT) 的 Winston 指出,人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能的工作.因此,人工智能是关于知识的科学,它要求人们去解决如何表示知识,怎样获取知识,怎样使用知识,怎样去不断地根据实例去修正知识.在这里,知识即是一种常识,也是一种相对真理,它具有局部的和暂时的合理性.随着时间和空间的推移,它不断地改变自己的形式.为了方便起见,我们将使用常识的推理叫做常识推理.

以严格的经典逻辑为基础的推理是一种演绎推理,而常识推理本质上是一种非演绎推理.虽然演绎推理也是一种人类的智能活动,而人工智能中的推理主要指常识推理.

常识推理与演绎推理有着明显的区别:

演绎推理使用的是抽象而严格的定义以及在一定理论框架下的绝对正确的定义与公式.而常识推理使用的是具有局部与暂时合理性的知识和超知识,即人们的共识或个人的经验.

演绎推理有一定抽象的理论承诺,它所使用的概念是清晰的,无二义的,对于任何人都有相同的含义,因而是确定的.而常识推理使用的概念是模糊的,不确定的,

对于不同的人可能会有不同的理解,具有不确定性.知识中不肯定性表现了人类认识的局限性,作为普遍的知识中可能有一部分具体对象不正确.超知识的不确定性表现在个人的主观片面性,作为特殊的知识与全面的知识比较上的片面性.

演绎推理是一种“保真”的推理,如果前提正确,那么由前提经演绎推出的结论也正确;而常识推理是一种“未必保真”的推理,即使前提正确,而结论也未必严格正确,是一种近似保真而具有直观合理性的结论.

演绎推理是具有相容性的推理,在一个理论体系中不可能同时推出两个相反的命题成立.而常识推理具有矛盾性,是一种非协调推理,在一个知识系统中可能会得到两个相反的结论.

演绎推理是完全的,即具有单调性,增加新的事例不会影响原有的结论,而常识推理是不完全的非单调推理,增加新的事例可能会影响原有的结论.

总之,演绎推理是在抽象的逻辑结构上进行的.它是一种从普遍性到特殊性的推理.它不承认任何由已知前提推不出的东西,不承认任何不经过演绎推理的假设,不承认任何含有例外事例的结论.它是一种让人“放心”而偏于“保守”的推理机制.而常识推理是在时间和经验的基础上进行的,它是一种从特殊到普遍性的推理.它具有“容错”的特征,它通过不断地发现矛盾和限制矛盾与修正和维护知识.知识的正确性即不取决于逻辑的推理规则,也不取决于以知识为前提的推理过程,而取决于推理的结果与事实的符合程度和用户要求相一致的程度.演绎推理的真值只能是或“真”或“假”,而常识推理的真值可以是“真”到“假”之间的一种过渡值.因此,常识推理经常用一种确定度来表示结果的真实程度,有时也称为不确定推理.由此可见,常识推理,或不确定推理是人工智能中智能性质的核心内容.不确定推理研究的任何进展,必将推动计算机模拟人的思维过程的进行,必将使计算机科学有一个新的飞跃.

1.2 常识推理的基本内容

常识推理是一种非演绎推理,它是在前提知识不完全、不确定和有例外甚至含有矛盾的情况下,依据某些合理性标准得出一些可错而有用的结论,这是与演绎推理不同的.因此在演绎推理中是已知条件和推导的结论,在常识推理中是已知证据与所得假设.这样,常识推理就包含有以下三个组成部分.

假设生成:根据已有证据得到某些假设;

假设评价:根据已有证据对某些假设作出评价;

假设修正:假设被反驳时对原假设的修复与维护.

假设生成有许多方法,最常用的有归纳推理、拓广推理、类比推理、逆向推理、统计推理等。

归纳推理是一种从部分到整体、从特殊到一般、从个体到全体的推理过程,它是一种纵向思维。比如当看到乌鸦、麻雀、燕子等鸟会飞,归纳得到“鸟会飞”的假设。因此,归纳的基础是一组数据、一组事例和一组观察,称为证据。根据这些证据选择符合这些证据的假设即是归纳推理。拓广推理也是从特殊到一般的推理,也是一种纵向思维,但它与归纳推理不同。归纳推理一般是从有限个观察得到一种假设,拓广推理是直接以某些特殊观察得到一般假设。比如看到乌鸦会飞,直接得到“鸟会飞”的假设。类比推理是通过两个类似系统的研究,由一个系统的性质对另外一个系统的性质获得假设,它是一种横向思维。1924年,法国物理学家 Broglie 即是用类比推理提出了实物具有波动性的假设。他认为,现今可观察到的宇宙都是由场和实物组成的,既然一般认为具有波动性的场(例如光)同时具有粒子性,那么具有粒子性的实物也应具有波动性。逆向推理是一种扭转思维,是“由果到因”的推理方式。比如“天上下雨地面湿”,那么由地面湿可得到“下雨”的假设。统计推理是一种数值计算的推理方式,它是利用统计假设“小概率事件在一次试验中是不可能发生的”。比如有人统计《红楼梦》的前八十回与后四十回的用字、词、句的比例搭配,有惊人的相似,从而得到他们同出于一个作者的手笔。当然,也有人用类似的方法得到了相反的结论。以上的方法都是由证据得到假设的方法,都是假设生成方法。其实还有一些其他的一些假设生成方法。比如系统思维、形象思维、类比思维和层次思维等一些创新思维方法,甚至灵感等都是假设生成的方法。由证据到假设并不能保证一定是正确的,它不仅要与当时的背景知识相协调,而且有待于未来事实的验证或反驳。

假设的评价是对假设成立的一种不确定性的度量,它是对假设的一种排序,使其能够对不同的假设甚至相互冲突的假设进行比较和筛选。因此假设的评价一般称为不确定推理。

不确定推理,首先要给出度量假设成立的程度的公式,它可以用各种不同的方法给出计算公式。不管采用什么度量公式,关键在于它的比较和筛选结果是否具有直观合理性。有了度量假设的计算公式,还要解决不确定性度量的合成、传播与修正。所谓度量的合成,即是通过某些假设的度量计算这些假设复合以后得到的假设度量。所谓度量的传播是对假设作为证据而得到的新的假设的不确定性的度量。证据是不确定的,推理规则也不是保真的,所得到的假设也是不确定的。这样就必须由原证据得到的假设的不确定性计算新的不确定性。假设的度量的合成是多元函数,假设的度量传播是复合函数,先合成后传播,还是先传播后合成,不应该导致不同的结果。如果证据在不断的变化,对假设的度量也要不断调整,这即是度量的修正。因

此, 提出任何不确定性推理方法, 必须同时解决不确定性度量的合成、传播与修正问题.

假设的修正是一个知识维护问题. 在常识推理中, 假设的生成是一种非演绎推理, 本身就有容错的特征. 正因为如此, 才可以有新的、创造性的、大胆的假设. 既然容错, 就必须不断地修正错误, 通过对假设的修正使假设更加符合实际情况. 一般来说有两种错误: 一种错误是假设与事实不符, 这时就要去掉假设中与事实不符的部分, 并最大限度地维护原有知识; 另一种错误是不同途径得到相互冲突的假设, 就要考虑哪一种假设更加优先. 这些属于非单调逻辑与非协调逻辑研究的内容. 修正以后的假设同样可能会与新的证据相悖, 因此假设的修正是一个无限过程, 是一个从相对真理到绝对真理的演化过程.

假设的生成、假设的评价、假设的修正构成了常识推理的基本内容. 但是, 它们不是相互独立的, 而是相互制约与相互促进的. 假设的生成往往辅之以对假设的评价和筛选, 假设的修正也是对旧的假设的淘汰和对新的假设的生成, 而且假设的修正也往往辅之以对假设的评价和筛选. 因此, 假设的评价在常识推理中有着特殊的作用.

1.3 不确定推理原理与方法

不确定推理是常识推理中最为活跃的研究领域之一, 也是计算机智能系统走向实用化的一个重要方面.

不确定推理有许多方法, 有定量方法、定性方法, 还有定性与定量相结合的方法. 定量的方法比较容易在计算机上实现, 因此, 这里讲的不确定推理主要指定量的方法.

不确定推理的定量方法, 首先是对不确定信息的表示和度量. 不同的信息表示与度量方法即构成不同的不确定推理. 目前常采用的不确定推理方法有基于概率论的概率推理方法, 基于证据理论的证据方法, 基于模糊集理论的可能度方法, 这三种方法各有优缺点, 几乎同时产生并同时在发展着.

概率推理方法中最早使用的是不确定因子方法, 是由 Shortliffe 和 Buchanan 于 1975 年提出来的, 并用于处理 MYCIN 系统中的不确定信息. 不确定因子方法在给定证据下假设的信任程度的增量与怀疑程度的增量的差的标准化值, 作为假设的信任度计算公式. 标准化后的数据在 $[-1, 1]$ 中. -1 表示假设的否定被确认, $+1$ 表示假设被确认. 1976 年, Duda 等提出了主观贝叶斯方法, 并应用于探矿专家系统 PROSPECTOR 的设计. 主观贝叶斯方法主要基于贝叶斯公式和变形的贝叶斯公式来计算给定证据下的假设承认的概率. 1985 年, Pearl 给出了信息网络方法. 信息网

络是一个无圈的有向图, 其中节点是变元, 弧表示相关变元间的依赖关系, 变元的取值对应于证据与假设, 变元之间的依赖程度用条件概率表示. 信息网络所以被采用, 主要是有某种独立性假设, 大大简化了计算工作量. 1986 年, Nilsson 提出了概率逻辑, 得到了 Nilsson 概率估计.

证据理论又称为 D-S 理论, 最早是由 Dempster 于 20 世纪 60 年代提出的, 70 年代经 Shafer 发展成为比较完整的形式. 证据理论使用取值在 $[0, 1]$ 中的信任函数和似然函数两个数组成的区间表示在给定证据下对于假设的估计与评价.

模糊集理论是 Zadeh 于 1965 年提出来的, 后来经过 Dubois 和 Prade 发展成为一种重要的可能度推理方法. 可能度推理方法更好地处理模糊不确定性和不完全信息, 它使用的度量是可能性度量与必然性度量.

在我国, 胡国定对 Shannon 信息给出了新的定义, 用概念的外延补集作为信息, 外延补集概率作为信息量. 胡国定给出的信息量的定义更适合于概念思维过程. 在此基础上, 胡国定又用他所定义的信息量研究或然逻辑, 信息推理作为一种新的不确定推理应运而生. 信息推理不仅可以描述不确定推理, 而且对于假设的生成有着重要意义. 另外一种很有意义的工作是王国俊引进的计算逻辑学. 他通过引进的蕴涵真度的概念, 通过计算讨论了语义理论与语构理论, 得到了包含经典逻辑、多值逻辑、模糊逻辑的大多数重要结论. 王国俊提出的蕴涵真度本身就是包含度, 用包含度方法从语义出发即得计算推理.

以上讲到的定量的不确定推理方法, 其中共同点是用一种测度度量假设, 这种测度可能是一种可加的概率测度, 利用一种测度来度量假设的信息. 而推理的实质是一种包含关系, 对于推理的度量用包含的程度来度量. 基于以上的共同认识, 提出了包含度的概念, 它有着很好的性质. 在一定的意义下, 它对概率推理方法、证据推理方法、模糊推理方法以及信息推理方法、计算推理方法是一种很好的概括. 由于包含度的广泛性及生成方法的多样性, 形成了包含度理论.

提出一种不确定推理方法, 不仅要给出已知证据下假设的信息度量, 还必须解决信息度量的合成、传播与修正. 有了合成、传播与修正的信息计算公式, 只要知道某些假设的信息度量, 就可以从某些证据的信息量得到由这些证据得到的假设, 再由这些假设作为证据得到新的假设的信息度量, 也可以对改变了的证据对假设的影响作出信息度量. 遗憾的是, 这些问题并不总是容易的. 如在概率推理中, 两个假设的“或”运算得到的假设, 要得到一个信息度量合成公式都是困难的, 必须要有某种独立性假设, 但是在概率推理方法中, 由于概率的性质和贝叶斯公式, 信息度量的传播与修正却是方便的. 对于证据推理方法、模糊推理方法、信息推理方法、计算推理方法同样要研究信息度量的合成、传播与修正. 只要提出一种不确定推理方法, 都需要研究信息度量的合成、传播与修正问题, 这样才能使不确定推理充分发

挥作用. 从包含度理论出发, 书中提出的信息度量的合成与传播的公理及生成方法, 显然在专家系统中是非常有意义的.

1.4 本书的结构

本书的重点, 是利用书中提出的包含度理论, 讨论定量的不确定推理, 主要指概率推理方法、证据推理方法、模糊推理方法、信息推理方法和计算推理方法. 对于这些方法中涉及的测度与信息的工具在第 2 章中作出详细介绍.

本书的第 3 章重点介绍包含度理论及其应用. 介绍了包含度的定义及其性质、包含度的生成方法以及包含度在专家系统检索、不确定推理中的应用, 特别是在各种关系数据库中的应用方法. 指出了包含度理论作为一般原理对于描述不确定推理的有效性和实用性. 包含度理论构成本书研究内容的理论基础.

本书的第 4~6 章介绍了概率推理、证据推理与模糊推理, 指出了它们与包含度理论的关系. 同时在包含度理论的指导下, 给出了专家系统中若干重要的结果, 解决了专家系统中不确定性规则的生成及矛盾模糊规则的排除问题等, 充分显示出包含度理论作为方法学对研究不确定现象的重要意义.

第 7 章介绍了信息推理, 充分利用了胡国定关于新的信息量的定义及关于或然逻辑量化的基本思想, 通过信息之间的包含度建立了信息推理, 并给出了假设生成的某些方法. 假设的修正引用了李末的文章.

第 8 章介绍了计算推理. 王国俊提出了计算逻辑学, 从语构和语义两方面对经典逻辑、多值逻辑、模糊逻辑进行了系统的研究, 得到了系统的研究成果. 本书从语义出发, 利用蕴涵真值形成的包含度, 给出了计算推理的实用性描述.

常识推理内容很丰富, 方法也很多, 本身就是在不断研究与发展中的课题. 如非单调逻辑、次协调逻辑、默认推理等, 这里不可能作全面介绍. 本书只是以定量的不确定推理为主介绍常识推理, 并且局限于作者的研究工作. 在阅读本书过程中, 要善于抓住包含度的实质以及包含度与现实世界的联系, 才能推进自己的研究工作. 集合是描述现实世界中客观对象的最基本的概念, Zadeh 将集合概念模糊化提出了模糊集可以描述不确定的对象, 拓宽了“对象”的研究范围; 而包含度理论是将包含关系“模糊化”, 提出包含度可以描述不确定的关系, 拓宽了“关系”的研究范围. 也就是说, 凡是用包含关系研究确定性现象的方法, 都可以用包含度理论研究不确定现象. 因此, 包含度理论是研究不确定现象的方法学. 随着人们研究领域的扩大, 以及所研究领域复杂性的增加, 不可能把复杂性现象都限制为确定的现象, 必须直接对不确定现象加以研究, 包含度理论将成为研究复杂现象的一个重要的研究工具.

第2章 测度与信息

不确定推理处理的是不清晰的、不确定的、不完全的信息. 通过不确定性的度量对假设进行比较和排序, 以便对不同的假设甚至相互矛盾的假设进行筛选, 这是不确定推理的基本思想. 不确定性度量可以是定量的, 可以是定性的, 也可以是定量与定性混合的. 但是对于目前的计算机系统来讲, 定量的不确定推理实现起来要方便得多. 为了介绍定量的不确定推理方法, 需要引进测度与信息的基本概念与运算.

2.1 经典集合与模糊集合

在人工智能中遇到大量的经典集合. 比如在专家诊断系统中, 有专家的集合、病例的集合、症状的集合; 在汉字识别系统中, 有汉字的集合、笔画的集合、拼音字母的集合等. 在一个实际问题中, 将考虑对象的全体称为一个基本集合, 或论域, 通常以 X 记之. 如 26 个英文字母集合, 平面上所有点的集合等, 都是一个论域. 论域 X 中的一部分称为 X 的子集合, 通常以 A, B, C 表示. X 中的对象称为元素, 以小写字母 (如 x, y) 记之. 如果 x 属于 A , 记作 $x \in A$; 若 x 不属于 A , 记作 $x \notin A$. 以 $\emptyset$ 表示空集合, 以 X 表示全集合. 任给性质 $P_1, P_2, \dots, P_m$, 具有性质 $P_1, P_2, \dots, P_m$ 的 x 全体构成一经典集合:

$$A = \{x \mid P_1(x), P_2(x), \dots, P_m(x)\}.$$

对于 X 中的两个子集 A 和 B , 若 $x \in A$ 时必有 $x \in B$, 称 A 含于 B , 或 B 包含 A , 记作 $A \subseteq B$. 若 $A \subseteq B$ 且 $B \subseteq A$ 同时成立, 称 A 等于 B , 并记作 $A = B$.

设 X 为论域, 记

$$\mathcal{P}(X) = \{A \mid A \subseteq X\},$$

称 $\mathcal{P}(X)$ 为 X 的幂集. 如果 X 中有 n 个元素, 则 $\mathcal{P}(X)$ 中有 2^n 个元素. 对于 X 的两个子集 A 和 B 可定义运算:

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ 或 } x \in B\},$$

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ 且 } x \in B\},$$