

■ 陈国青 阮达 主编

《当代计算智能技术与管理前沿研究》丛书

可转移信度模型

The Transferable
Belief Model

■ P. 司麦斯



高等教育出版社
Higher Education Press

■ 陈国青 阮达 主编

《当代计算智能技术与管理前沿研究》丛书

可转移信度模型

The Transferable
Belief Model

■ P. 司麦斯



高等教育出版社
Higher Education Press

图书在版编目(CIP)数据

可转移信度模型 / 陈国青, 阮达主编. —北京: 高等教育出版社, 2005. 10

(当代计算智能技术与管理前沿研究 / 陈国青, 阮达主编)

ISBN 7-04-018223-8

I. 可... II. ①陈...②阮... III. 人工智能-神经网络-计算-应用-管理学-文集 IV. ①C93-53②TP183-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 120264 号

策划编辑 赵天夫 责任编辑 赵天夫 封面设计 王凌波
责任绘图 尹 莉 责任印制 杨 明

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	国防工业出版社印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×960 1/16	版 次	2005 年 10 月第 1 版
印 张	18.25	印 次	2005 年 10 月第 1 次印刷
字 数	330 000	定 价	39.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18223-00

主编的话

现代信息技术的飞速进步以及与人们生活、经济活动的密切融合,使得计算智能领域的发展有了—个更广袤的空间.《当代计算智能技术与管理前沿研究》是一套对计算智能领域理论、方法及其应用进行深入探讨的学术系列丛书.计算智能关注两个重要问题,一是从计算的角度表达和处理认知、行为、概念、推演等层面上的智能特征;另一问题是从不确定性的角度表达和处理具有柔性、容忍度、语言概括能力等软计算特征.基于计算智能的系统和技术被广泛应用于许多领域,包括改善医疗状况、提高工程技术水平、改善生产效率等,同时也在管理决策中扮演着重要角色.

本丛书是由一系列相对独立的著作构成,作者均为蜚誉中外,在国际学术界享有崇高盛名的著名学者,如模糊理论的创始人美国的 L. A. Zadeh 教授,信度理论的权威学者比利时的 P. Smets 教授,国际模糊系统学会 (International Fuzzy Systems Association, IFSA) 的首任主席德国的 H. J. Zimmermann 教授,智能系统著名专家美国的 R. R. Yager 教授等.每部著作都是作者根据自己的学术成果进行整理和编辑而成,其中不乏具有奠基性和里程碑意义的经典之作.每部著作围绕一个相关领域的主题,进行深入和自成体系的探讨,以展现深刻的学术思想以及诠释科学的问题求解路线.

我们组织编辑这个系列丛书的目的之一是为中国的学者提供一个系统的知识平台,旨在分享计算智能的若干“经典、主流、发展”的成果,并促进在相关领域的学术探索和应用实践.本系列丛书可以作为计算机科学与信息系统、人工智能、应用数学、管理科学与工程等专业的研究人员的学术文献,也可以作为研究生(包括部分大学本科高年级学生)的教材或参考读物.同时,这套丛书对工程技术人员和企业相关人员也具有参考价值.

2005 年 7 月, 国际模糊系统学会第十一届世界大会将在北京清华大学举行. 暨此正值 IFSA 成立 20 周年并模糊理论问世 40 周年之际, 谨推出本丛书以致祝贺.

作为本丛书的主编, 我们首先感谢著作人的赐稿, 以及他们在丛书编辑过程中给予的帮助. 感谢中国国家自然科学基金项目 (70231010/70321001) 和中比双边科技合作项目 (011S1105) 的支持. 同时对高等教育出版社编辑人员的细致和辛勤工作致以衷心的感谢. 此外, 我们特别对北爱尔兰 Ulster 大学的刘军博士, 澳大利亚悉尼科技大学的路节教授以及清华大学经济管理学院教师、研究助理以及研究生们: 卫强、郭迅华博士; 张楠、陈佐亮、任明、唐晓辉、张星、张丽博士生; 刘莹、林凌硕士等在丛书资料整理、翻译及校对等方面的出色工作表示由衷的感谢.

陈国青, 阮达

2005 年 5 月

主编简介



陈国青, 1982 年获中国人民大学信息系学士学位. 1985 年教育部选派赴欧洲留学, 分别于 1988 年和 1992 年获得比利时鲁汶大学硕士、博士学位. 现任清华大学经济管理学院教授、博士生导师、常务副院长. 1999 年度国家杰出青年科学基金获得者. 教育部管理科学与工程类学科教学指导委员会副主任. 国家自然科学基金委评审专家组成员. 曾任欧共体/KUL(MC) 项目系统专家; 美国麻省理工学院、华盛顿大学、比利时鲁汶大学、比利时林伯格大学访问学者/访问教授. 国际计算机学会 (ACM) 会员、数据管理专业委员会 (SIGMOD) 成员、知识发现专业委员会 (SIGKDD) 成员; 国际信息系统学会 (AIS) 会员; 中国信息经济学会副理事长; 中国系统工程学会模糊数学与系统专业委员会秘书长. 担任多个国际会议主席和 IPC 成员, 包括第十一届 IFSA 世界大会 (IFSA2005) 组委会主席. 在国际上发表论著 80 多篇/部. 由国际著名出版社 Kluwer Academic Publishers 在美国出版英文学术专著 (1998). 担任多个国际杂志的编委.



阮达, 1983 年获上海复旦大学数学系学士学位. 1990 年获比利时根特大学应用数学与计算机系理学博士学位. 1991—1995 年作为比利时国家核能研究中心 (SCK·CEN) 博士后从事石油勘探中的有限元计算软件包开发研制和核反应堆上的智能控制. 自 1996 年任 SCK·CEN 高级研究员及项目领导人, 主办应用智能系统 (FLINS) 国际系列会议 (自 1994 年每两年一次). 获中国核动力研究院名誉博士 (1995). 自 2000 年兼任成都西南交大顾问教授, 2001—2002 年兼任挪威国家能源技术研究所客座研究员. 自 2003 年兼任墨西哥国家核能研究所高级技术顾问. 自 2004 年兼任上海东华大学和成都西华大学客座教授. 自 2005 年兼任比利时根特大学客座教授.

主要从事数学建模、智能计算、智能信息处理、智能决策与控制及其在信息管理、机器人、核反应堆有关安全工程等领域的应用领域的研究工作. 先后发表学术论文 100 余篇, 在 Kluwer、Springer、World Scientific 等出版书 20 余部, 任 10 多个 SCI/EI 检索的国际杂志专集特邀编辑, 国际杂志 Fuzzy Sets and Systems 编委, Soft Computing & Automation 欧洲地区主编, 及 FLINS 国际会议录主编 (该论文集自 1998 年被 ISTP 检索, 自 2004 年被 EI 检索).

作者致谢

本书由以下已发表的文章翻译而成. 在此, 对为这些文章能以中文译文形式获得出版提供授权的版权单位致以诚挚的谢意!

版权单位及相关文章如下.

Elsevier Science

第二章: 可转移信度模型

The Transferable Belief Model

Artificial Intelligence, 1994(66): 191~234

第四章: 可转移信度模型公理体系的证明

The Normative Representation of Quantified Beliefs by Belief Functions

Artificial Intelligence, 1997(92): 229~242

第七章: 矩阵计算在信度函数中的应用

The Application of the Matrix Calculus to Belief Functions

International Journal of Approximate Reasoning, 2002(31): 1~30

Kluwer Academic Publishers

第六章: 表示量化信度的可转移信度模型

The Transferable Belief Model for Quantified Belief Representation.

In: Gabbay D M, Smets P, ed. Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems, 1996, Vol.1, 267~301

Morgan Kaufman Publishers

第一章: 关于更新操作

About Updating

D'Ambrosio B D, Smets P, Bonissone P P, ed.

Proceedings of the 7th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. San Mateo, CA, USA, 1991. 378~385

第五章: 信度函数的应用

Practical Uses of Belief Functions

In: Laskey K B, Prade H, ed. Opening talk at UIA'99. Proceedings of the 15th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. San Francisco, CA, USA, 1999. 612~621

Physica-Verlag

第八章: 用信度函数表示不确定性下的决策

Decision Making in a Context where Uncertainty Is Represented by Belief Functions

In: Srivastava R P, Mock T J, ed. Belief Functions in Business Decisions, Heidelberg, Germany, 2002. 17~61

P. 司麦斯教授简介

P. 司麦斯

Philippe Smets



P. 司麦斯分别在 1963 年和 1978 年于比利时布鲁塞尔自由大学 (Université Libre de Bruxelles) 获得医药统计硕士和博士学位, 还在 1968 年于美国北卡拉罗那州立大学获得实验统计学硕士学位. 从 1986 年起, 他作为教授任教于比利时布鲁塞尔自由大学. 司麦斯教授于 1999 年退休, 并在多个大学担任访问教授, 如 Fribourg 大学 (1999)、堪萨斯大学 (1999)、Paul Sabatier 大学 (2000) 和巴黎第六大学 (2003).

从 1985 年至 1999 年, 他担任布鲁塞尔自由大学的人工智能开发跨学科研究院 (IRIDIA) 的院长一职.

在过去几年中, 他在量化近似推理和诊断研究领域发表了一百多篇学术论文. 他的主要研究课题为可转移信度模型, 即根据 20 多年前他所创立的信度函数来表示量化信度的模型.

司麦斯教授担任许多国际杂志的编委, 如国际模糊集合与系统杂志 (International Journal of Fuzzy Sets and Systems), IEEE 模糊系统期刊 (IEEE Transactions on Fuzzy Systems), 国际近似推理杂志 (the International Journal of Ap-

proximate Reasoning), 信息系统 (Information Sciences), 应用非经典逻辑杂志 (Journal of Applied Non Classical Logics), 逻辑与计算杂志 (Journal of Logic and Computation), 法国人工智能杂志 (the French Revue d'Intelligence Artificielle), 等等.

司麦斯作为编者之一参与编著了多部学术著作, 如《自动推理的非标准逻辑》(Academic 出版社), 《信息系统中的不确定性管理: 从需求到解决方案》(Kluwer 出版社), 以及《不可行推理和不确定性管理系统手册》系列丛书 (Kluwer 出版社, 共 7 部).

司麦斯还分别于 1991 年和 1992 年担任第 7 届 (UCLA) 和第 8 届 (斯坦福) 人工智能领域中的不确定性国际会议的程序委员会联合主席. 他还担任过大多数探讨不确定性表达的国际会议的程序委员会委员.

司麦斯教授曾经参加过多个比利时和欧洲的研究开发项目. 特别需要说明的是, 他曾经担任欧洲 ESPRIT 项目 DRUMS I, DRUMS II, UMIS 和 FUSION 的项目协调人, 而且还是 ESPRIT 项目 ARCHON, MUNVAR, FALCON 和 ERUDIT 的成员.

目 录

第一章	关于更新操作	1
1.1	用于信度函数的调节规则	1
1.2	案例: 投票意图研究	7
1.3	调节	9
1.4	比例引起的信度	14
1.5	结论	15
第二章	可转移信度模型	17
2.1	引言	17
2.2	可转移信度模型	20
2.3	源自信度函数的决策概率	26
2.4	Jones 先生谋杀案	33
2.5	哨兵站岗	35
2.6	翻译器	38
2.7	不可靠的传感器	42
2.8	基本信度分配的本源	44
2.9	在表示层处理证据	46
2.10	结论	47

第三章 一种加权信度的规范分解	57
3.1 引言	57
3.2 规范分解	58
3.3 两个信度函数的 $\oplus$ -合成	61
3.4 分解运算	61
3.5 隐性信度结构	62
3.6 进一步扩展	66
3.7 我们的规范分解与 Shafer 方法的比较	67
3.8 原始信度函数情况	68
3.9 结论	68
第四章 可转移信度模型公理体系的证明	70
4.1 引言	70
4.2 可信度函数	74
4.3 可信度函数集合的凸性	78
4.4 粗化和精炼	82
4.5 信度修正	85
4.6 可信度函数和信度函数	94
4.7 结论	99
第五章 信度函数的应用	117
5.1 引言	117
5.2 不确定性与信度函数	119
5.3 可转移信度模型分类	122
5.4 概率论证系统信息查询	127
5.5 部分重叠框架下的感应器	128
5.6 分析矛盾和源数目	129
5.7 结论	131
第六章 表示量化信度的可转移信度模型	136
6.1 引言	136
6.2 信度域	137
6.3 可转移信度模型	139
6.4 决策制定和荷兰赌问题	153
6.5 广义贝叶斯定理	160

6.6 使用信度函数的理由	163
6.7 “信度”的意义	164
6.8 结论	165
第七章 矩阵计算在信度函数中的应用	171
7.1 引言	171
7.2 默比乌斯变换	175
7.3 快速默比乌斯变换	179
7.4 决策变换	182
7.5 交互指数 I_{ω}	184
7.6 基本信度分配间的转化	185
7.7 特殊化和一般化	186
7.8 修正	188
7.9 Dempster 的调节准则	188
7.10 组合中的合取/析取规则	190
7.11 规范表示	192
7.12 α -连接	193
7.13 结论	198
第八章 用信度函数表示不确定性下的决策	201
8.1 引言	201
8.2 信度函数的数学背景	203
8.3 关于概率理论的数学知识	206
8.4 信度函数相关的多种解释	210
8.5 可转移信度模型框架中的决策	215
8.6 在上下边界概率中的决策	231
8.7 结论	236
第九章 基于用可转移信度模型表述的 Dempster-Shafer 模型的目标识别	243
9.1 引言	244
9.2 用于识别的可转移信度模型	245
9.3 广义贝叶斯定理	250
9.4 一个数据融合的简单例子	254
9.5 一个比较可转移信度模型方法和概率方法的令人为难的例子	255

9.6 计算效率: 与贝叶斯模型的比较	259
9.7 嵌套传感器: 每层多个传感器	266
9.8 嵌套传感器: 每层单个传感器	268
9.9 框架部分重叠上的传感器	272
9.10 总结	273

第一章

关于更新操作

摘要

本文采用一个实际的说明性例子来阐述几种形式的更新操作. 我们研究了几种更新 (调节) 方案, 并从一般性假定来分析这几种方案的深层内涵. 更新操作是一种精密的操作, 没有唯一的方法, 也没有唯一的 “好” 规则, 而必须根据实际情况选择适当的规则. Planchet^[12] 在 1989 年提出针对各种调节规则的数学上的综述. 而我们关注的是这些规则的实际意义. 本文在对几种调节规则进行概述之后, 给出一个说明性的例子, 在这个例子中, 将对几种形式的调节规则进行解释.

1.1 用于信度函数的调节规则

设 Ω 是一个由元素 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 组成的有限集合, 元素 ω_i 是某个给定问题可能的相互独立的答案. 设函数 $bel : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$ 是 Ω 上的一个信度函数, m 是其相应的基本信度分配.

任取 $A \subseteq \Omega$, $bel(A)$ 量化了我们对问题的正确答案在 A 中的信任程度. 如果 ω_i 是问题可能答案的无遗漏的序列, 那么封闭世界假设成立 (即 Ω 之外不存在问题的解决方法), 否则开放世界假设成立^[15].

假设一个新的证据说明答案不在 $\bar{A}$ 中, 其中 A 是 Ω 中的元素 ω_i 组成的集

合, $\bar{A}$ 是由在 Ω 中而不在 A 中的元素 ω_i 组成的集合. 这说明答案不在 $\bar{A}$ 中并不代表答案就在 A 中. 在封闭世界假设下这两种状态是等价的, 但是在开放世界假设下则不是. 在这里, 答案可能根本不是 Ω 中的任何一个元素. 若是说答案不在 $\bar{A}$ 中时, 只是把 $\bar{A}$ 排除在可能的答案以外. 而若说答案在 A 中时, 我不仅排除了 $\bar{A}$ 中的所有元素, 还声明了答案就是 A 中的元素, 这是一个更强的声明. 这种差别来源于开放世界假设和封闭世界假设之间的差异.

由答案不在 $\bar{A}$ 中的信息而导致的 bel 函数的更新将会得到不同的实施, 这依赖于 bel 函数所假定的模型对问题的解释.

调节规则 C.1. 非规格化 Dempster 调节规则

对于所有的 $X \subseteq \Omega$, X 的基本信度质量 $m(X)$ 被转换成 $A \cap X$. 基本信度分配 m_A , 信度函数 bel_A , 以及在 A 上做调节之后得到的似然函数 pl_A 分别是

$$\begin{aligned} m_A(B) &= \sum_{X \subseteq \bar{A}} m(B \cup X), & \text{其中 } B \subseteq A, \\ m_A(B) &= 0, & \text{其中 } B \subsetneq A, \\ bel_A(B \cup \bar{A}) &= -bel(\bar{A}), & \text{其中 } B \subseteq \Omega, \\ pl_A(B) &= pl(B \cap A), & \text{其中 } B \subseteq \Omega. \end{aligned}$$

这个方案总是可用的, 即使 $pl(A) = 0$ 时也可用. 注意在这个解决方案中 $m_A(\emptyset)$ 可能是非空的. 事实上, 存在 $m_A(\emptyset) = m(\emptyset) + bel(\bar{A})$.

这是一条基于开放世界假设上的可转移信度模型的调节规则^[15].

调节规则 C.2. 规格化 Dempster 调节规则

基本信度质量仍然像调节规则 C.1. 一样转换, 但是结果要按比例规格化以得到可以转换成空集的信度. 这避免了在空集上以正的信度块结束, 并保证 $bel(\Omega) = 1$. 调节之后可以得到

$$\begin{aligned} m_A(B) &= c \sum_{x \subseteq \bar{A}} m(B \cup X), & \text{其中 } B \subseteq A, B \neq \emptyset, \\ m_A(B) &= 0, & \text{其中 } B \subsetneq A. \end{aligned}$$

对于 $B \subseteq \Omega$, 有:

$$\begin{aligned} bel_A(B) &= c \cdot bel(B \cup \bar{A}) - bel(\bar{A}), \\ pl_A(B) &= c \cdot pl(B \cap A), \end{aligned}$$

其中, $c^{-1} = bel(\Omega) - bel(\bar{A}) = pl(A)$.

这种解决方案只能用于 $pl(A) > 0$ 的情况. 当 $pl(A) = 0$ 时无解.