

西安交通大学学术专著丛书



# 不确定性 推理原理

张文修 梁怡 著



西安交通大学出版社

西安交通大学学术专著丛书

---

# 不确定性 推理原理

---

张文修 梁 怡 著  
西安交通大学出版社

(陕)新登字 007 号

不确定性推理原理

张文修 梁怡 著

责任编辑 房立民

责任校对 黎文成

\*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码 710049 电话:(029)3268316)

西安交通大学印刷厂印装

各地新华书店经销

\*

开本:850×1168 1/32 印张:10 字数:254 千字

1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

ISBN 7-5605-0880-4/O·129 定价:15.00 元

---

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售  
部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)3268357,3267874

## 作者简介

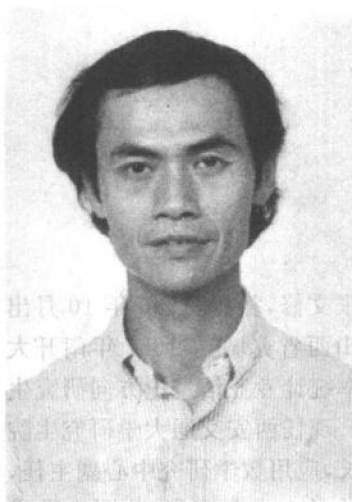


张文修,教授,1940年10月出生  
于山西省翼城县,1967年南开大  
学概率统计专业信息论方向研究生  
毕业。现任西安交通大学研究生院  
副院长,应用数学研究中心副主任,  
中国数学会常务理事,陕西省数学  
学会理事长,中国模糊集与系统学  
会副理事长,国际IFSA会员,《模  
糊系统与数学》杂志副主编,《工  
程数学学报》杂志副主编等。

张文修教授长期从事应用概率  
与集值随机过程、计算机智能推理

07542/07

基础与计算仿真的理论研究,先后主持和完成五项国家自然科学基金课题和两项国家 863 高新技术课题。作为项目主持人,张文修获国家级优秀教学成果一等奖一项、陕西省科技进步一等奖一项、国家教委优秀教材一等奖一项、西安交通大学科技成果一等奖两项。由科学出版社、贵州科技出版社、西安交通大学出版社等先后出版专著和教材 11 本,在中国科学、数学学报、科学通报、数学进展及国际学术刊物上发表研究论文 80 多篇。多次出国参加国际学术会议、访问、考察和科研合作。



梁怡,教授,现任香港中文大学环境研究中心主任。获美国科罗拉多大学博士学位。担任国际多种杂志编委和学会成员。由国际出版社出版专著 2 本。在国际学术刊物和国际会议上发表论文 70 多篇。研究方向为环境工程与专家系统、地理信息系统及决策支持系统、模糊逻辑与神经网络、遗传算法等。先后主持和完成四项 UPGC(香港政府)课题。被选入以下的名人录:(1) Edition Two of 5000 Personalities of the

World by the American Biographical Institute; (2) Men and Women of Distinction (Fourth World Edition) by the International Biographical Centre; (3) Men of Achievement (Fifteenth Edition) by the International Biographical Centre; (4) Dictionary of International Biography (Twenty Second Edition) by the International Biographical Centre.

## ABOUT THE AUTHORS

Zhang Wenxiu is a professor of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China. He Graduated from Nankai university in 1967, specialized in information theory, probability and statistics major. He currently serves as vice-dean of graduate school and vice-director of Research Centre of Applied Mathematics at Xi'an Jiaotong University, president of Mathematics Society of Shannxi Province, vice-president of Chinese Society of Fuzzy Set and System, vice-editor-in-chief of Chinese journals: "Fuzzy System and Mathematics" and "Journal of Engineering Mathematics". He is a member of the Standing Council of Mathematics Society of China, and of the IFSA.

Professor Zhang has been active in research on applied probability theory, set-valued stochastic process and computer reasoning in AI. He is the author or coauthor of over 80 academic journal papers, and 11 textbooks and monographs. As a principal investigator or author, he won prizes of the most distinguished teaching achievement in China in 1993, the excellent textbooks in universities in 1987, the first class award of Scientific Progress in Shannxi province in 1987 and two first class awards of Research results of Xi'an Jiaotong university in 1988 and 1993. Professor Zhang has held many visiting positions in Chinese and foreign universities.

Leung Yee is a professor of Chinese University of Hong Kong, where he serves as a director of Research Centre of Environmental Studies. He got his PH D at University of Colorado, USA in 1977.

Dr. Leung has been conducting research on environmental engineering, expert system, Fuzzy programming and neural networks. He has published over 20 journal papers and the monograph "Spatial Analysis and Planning under Imprecision" (Amsterdam, North-Holland, 1988) and "Intelligent Spatial Decision Support Systems" (Berlin, Springer-Verlag, 1996). He is a member of the editorial boards of 4 international journals.

## **“西安交通大学学术专著丛书”出版说明**

“西安交通大学学术专著丛书”是西安交通大学学术专著出版基金委员会支持的学术著作系列书。

“西安交通大学学术专著丛书”的作者主要是我校教师和海内外校友。它对学术专著的要求是：内容的主题必须是著作者本人或与合作者一起的研究成果，具有鲜明的特色和独特的见解或方法，推进或补充了前人在某学科领域的创造，达到国内外先进水平。投来的书稿由基金委员会聘请校内外学者、教授、专家若干人认真评审，复经基金委员会（由校长聘请若干名教授组成）严肃讨论并最后采取无记名投票方式裁定。

学术著作的水平，是一个国家、一个民族科学文化水平的标志之一。它不仅代表了一定的学术文化水平和理论深度，而且其中蕴



含着丰富的潜在生产力。先进的学术思想一旦被文字或音像记载下来,出版并传播,就能在人类的历史长河中,发挥难以估量的重大作用。“西安交通大学学术专著丛书”是反映我校较高学术水平和科研水平的一个窗口。

### **A PUBLICATION DESCRIPTION OF XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY ACADEMIC WRITINGS SERIES**

“Xi'an Jiaotong University Academic Writings Series” is supported by the Academic Publication Foundation of Xi'an Jiaotong University.

The authors of “Xi'an Jiaotong University Academic Writings Series” are mainly the University's teaching staff and alumni both at home and abroad. It is required that the subjects of the writings to be published should be the research results of the author or co-partners themselves with distinguishing features, originative viewpoints or methods, which should give an impetus or supplement to predecessors' creativeness in some fields, and which have reached national or world advanced levels. Any manuscript sent to the University Press will first be conscientiously evaluated by scholars, professors and experts inside and outside the University, who are invited by the Fund Commission. Then, it will be re-examined strictly by the Fund Commission itself which is made up of a few distinguished professors appointed by the president. And finally, whether the manuscript will be published or not is decided by ballot.

The level of academic writings signifies one of the scientific and

cultural levels of a country and of a nation. It is not only the sign of a certain academic and cultural level but also theory in depth, and it embodies abundant potentialities of the productive forces as well. Once the advanced academic thinking is recorded in script and publications or by using audio-visual aids for wide spreading, the result will play an important role in the long process of human history, the value of which is difficult to estimate. "Xi'an Jiaotong University Academic Writings Series" reflects, as a window, the higher academic and scientific research level of our University.

## 内容简介

不确定性推理是人工智能研究中最活跃的研究领域之一。本书以作者提出的包含度理论为指导,对不确定性推理的定量方法进行了系统的概括。

本书包含6章。第1章测度与信息是全书的数学基础,第2章包含度理论是全书的一般方法与框架。其它4章是用包含度理论为基本原理,系统地概括概率推理、证据推理、模糊推理与信息推理。第6章还包括假设生成的方法与修正的方法。

本书可以作为研究人工智能和专家系统中不确定性推理的参考书,也可作为应用数学、计算机科学、系统科学、管理科学等专业研究生的教材。

## A BRIEF INTRODUCTION OF THE BOOK

Uncertainty reasoning is one of the most active and rapidly developing area in artificial intelligence techniques. As a primary contribution to the area, a new theory——inclusion degree theory was developed systematically in the present book. With this theory, a unified account of various quantitative methods for uncertainty reasoning is presented.

The book consists of six chapters. Chapter 1 states measures and information summarizings all mathematical foundations needed for exposition of the following chapters. Chapter 2 formally introduces the inclusion degree theory, establishing a general framework and methodology of uncertainty reasoning. As specializations and applications of the inclusion degree theory, chapters 3—6 provide respectively a systematical account of probabilistic reasoning, evidence reasoning, fuzzy reasoning and information reasoning. Some powerful methods for hypothesis generation and revision are presented also in the last Chapter.

This book will appeal to students and researchers interested in uncertainty reasoning of AI techniques, as well as those working on applied mathematics, computer science, system science and management science.

## 前 言

不确定性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。30年来,有一批科学家致力于不确定性推理的研究,像 Shortliffe 和 Buchanan 提出的不确定因子方法, Duda 提出概率逻辑等。后来, Dempster 和 Shafer 提出证据理论方法,以 Zadeh 提出的模糊集为契机, Dubois 和 Prade 提出可能度推理方法等都属于不确定性推理方法。

不确定性推理的定量方法,首先需要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性推理。多年来,我们对于不确定性推理已有的方法研究中发现,所有方法的共同点是用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。而不确定性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,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性推理的概括和抽象。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性推理的理论研究提供了一般的方法,对产生新的不确定性推理有着明显的指导作用。同时,像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其它重要问题,如知识的获取,规则的谐调性以及矛盾规则的排除,都是一种非常有效的方法。包含度理论不仅是研究不确定性推理的一般原理,而且是研究不确定现象的方法学。

需要特别说明的是,不确定性推理的研究仅仅是人的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。不确定性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,对人类思维活动规律的全面研究,将是一件困难而又有重大意义的事情。它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。

借本书出版之机,我特别感谢我的导师胡国定教授。在60年代,我跟他学信息论的时候,他就提出研究发现真理方法的重要性。70年代在特殊的环境里,我读了一些数学家的发明史,写了《数林漫步》,他为此书写了热情洋溢的序言。这时关于思维规律的认识还是经验性质的。从80年代开始,我涉猎了研究不确定性数学的几个领域,像随机集与集值随机过程、模糊数学、人工智能与专家系统,多次聆听了胡国定先生关于思维科学研究的新进展,先后出版了《合情推理与计算机思维》、《信息论与或然逻辑》(西安

交通大学出版社)、《合情推理与创新思维》(贵州科学技术出版社),着手对思维活动的某些方面进行定量研究。由于这些研究的基础,才有可能产生包含度理论。再加上在香港与梁广锡、梁怡两位博士的科研合作,这两位博士对人工智能与专家系统的深刻认识,以及我们之间长达5个月的友好的学术讨论,才使得包含度理论得以形成和完善,才会有我与梁怡教授合作编著的这本书。这才真正体会到科学上的一点点进展需要付出多大代价和周围多少良师益友关心与合作。因此,当这本书出版之际,我除了向我的导师表示衷心感谢以外,还要感谢关心、支持、帮助、合作科研的所有专家与同事,例如游兆永教授、徐宗本教授、王国俊教授、施鸿宝教授、史忠植教授、刘应明教授、耿直教授、白硕教授、任平教授、程里春教授、林作铨教授以及香港中文大学的周昌教授等,感谢吴寿钨教授、房立民副编审对本书的精细加工,感谢西安交通大学学术专著出版基金委员会的支持。如果本书对于计算机智能科学的研究有所帮助,作者将感到莫大的欣慰。

张文修

1995年10月30日

# 目 录

## 前言

## 绪论

0-1	人工智能及其推理特征	1
0-2	常识推理的基本内容	3
0-3	不确定性推理原理与方法	6
0-4	本书的结构	9

## 第 1 章 测度与信息

1-1	经典集合与模糊集合	11
1-2	模糊测度及其性质	16
1-3	概率测度与贝叶斯公式	20
1-4	信任测度与似然测度	26
1-5	可能性测度与必然性测度	38



1-6 模糊测度各类之间的关系	44
1-7 不确定性度量与信息	49

## 第2章 包含度理论

2-1 包含度的定义及其性质	57
2-2 包含度的生成方法	65
2-3 相似度及其在专家系统检索中的应用	76
2-4 关系数据库系统及其性质	84
2-5 关系数据库上的知识获取	93
2-6 蕴含度及其在不确定性推理中的应用	97
2-7 专家系统中证据的合成、传播与修正	102
2-8 关系数据库的随机集表示	107

## 第3章 概率推理

3-1 概率推理原理	115
3-2 贝叶斯网络概率推理	119
3-3 主观贝叶斯概率推理	126
3-4 主观贝叶斯概率推理的讨论	134
3-5 主观概率推理的包含度方法	141
3-6 MYCIN 确定因子概率推理方法	144
3-7 MYCIN 确定因子的模糊扩张	151
3-8 概率推理的区间估计	159

## 第4章 证据推理

4-1 证据推理原理	168
4-2 关于证据推理的进一步讨论	176
4-3 证据推理模式	181
4-4 关系数据库上的证据推理	186
4-5 模糊关系数据库上的证据推理	194
4-6 随机关系数据库上的证据推理	200
4-7 基于随机集的证据推理	204