

证据推理理论、方法及其在 决策评估中的应用

朱卫东 吴勇 等/著



科学出版社

证据推理理论、方法及其在 决策评估中的应用

朱卫东 吴 勇 等 著

国家自然科学基金项目（项目编号：71071048，J1424015）

科学出版社
北 京

内 容 简 介

证据推理理论研究是人工智能研究的一个重要方向。随着互联网信息技术的发展,依据大数据和领域专家的经验证据进行决策的应用越来越广。本书首先研究证据推理理论的基本概念、DS 证据理论的基本框架,在此基础上研究用构造性证据表述两维证据理论体系,研究证据合成时证据之间由相关性、重要性、可靠性的差异而导致的合成效用问题,提出基于学习的参数优化等证据合成修正方法,并将其应用在证券市场预测、商业银行风险评估、创新能力评价和基金项目专家评审意见合成等领域,为证据推理理论提供新理论框架和合成方法。

本书可作为高等院校信息管理与信息系统、电子商务、金融工程等专业本科生和研究生用书,也可作为研究人工智能和决策支持系统的相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

证据推理理论、方法及其在决策评估中的应用/朱卫尔等著.—北京:科学出版社,2017.2

ISBN 978-7-03-051297-0

I. ①证… II. ①朱… III. ①证据—推理—研究 IV. ①D915.130.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 320643 号

责任编辑:马 跃 李 莉 陶 璇/责任校对:钟 洋

责任印制:徐晓晨/封面设计:无极书装

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年2月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年2月第一次印刷 印张:12

字数:231 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

随着互联网信息技术的飞速发展，人们认识世界获取的信息呈现出大数据的特征，既有定量数据，又有领域专家的知识 and 经验，具有大规模、多样性、复杂性、分布性、关联性等特征。如何利用这些数据为人们的决策服务成为决策科学研究的热点问题。

D-S 证据理论提供一个集成多源证据信息进行决策的可演变框架的理论模型。该理论的核心思想是基于对世界认识的不确定性来描述客观世界的。它在传统贝叶斯概率的基础上提出具有构造性的概率，即信度函数作为认识世界的基本要素，以实现更好地描述不确定和不确知的客观世界；提出面向人们认识世界的演进，描述问题的认识框架是不断深入变化的，在演变的过程中要利用人们已有的证据。对认识世界的判断应该依据已掌握的证据，这些证据既包括获得的反映客体的各种数据，也包括人们对事物具有的各种知识和经验。该理论为人们集成大数据证据与领域专家知识经验进行融合决策提供一般性指导框架。

然而，该理论对各种证据一视同仁、同样对待，并要求各证据之间互相独立。该理论在面向利用多源证据进行信息融合的实际应用中会遇到对证据的重要性不同，可靠性不同，有些证据具有相关性，证据之间存在冲突等问题，而导致利用传统 D-S 理论进行信息融合的决策结果的效用价值降低。

本书作者对这个问题进行多年深入的研究，提出多种修正传统 D-S 证据理论的思想方法。对具有决策绩效数据的多源信息融合决策系统，提出基于学习的修正多源信息证据的证据合成方法，在理论上证明该证据合成方法优于传统的 D-S 证据理论的证据合成方法。

本书提出基于二维证据识别框架的证据理论体系，用一个维度来度量和反映不同证据来源的证据在证据获取过程影响证据合成的质量、可靠性等特征信息，开拓一个二维证据理论体系。

在理论研究的基础上，将理论研究成果应用在证券市场专家群体预测信息融合与投资决策、银行操作风险的评价、科学基金立项专家评估信息融合、自主创新能力和评价、证券分析师荐股评级预测信息融合等领域，并得到很好的理论验证，取得很好的应用成果。

在互联网和大数据快速发展的时代，充分利用获得的数据与领域专家的知识

ii 证据推理理论、方法及其在决策评估中的应用

和经验，把握事物发展的不确定性，将有助于认识事物的发展规律，为管理决策服务。证据理论的拓展研究将会给利用大数据进行决策带来有益的思想、方法和工具。

胡志林

2016年12月

前 言

Shafer 在 Dempster 研究基础上提出证据理论, 于 1976 年出版《证据的数学理论》, 这标志着证据推理理论的诞生。它是人们认识不确定世界的有力理论方法, 是人工智能研究的一个重要领域。该理论经过 40 多年的研究发展, 其理论框架和证据合成方法不断完善, 应用领域不断推广。作为在贝叶斯推理理论上发展起来的证据推理理论, 构造了结构型概率, 决策框架动态演化, 对研究依据大数据与专家经验证据进行决策具有重要的理论意义和较高的应用价值。

本书作者长期从事证据推理理论与方法、决策理论与方法、金融工程等理论与应用研究, 先后完成多项国家自然科学基金课题, 其中国家自然科学基金面上项目“两维语义的证据推理理论与系统研究”(71071048)在国家自然科学基金管理科学部的结题项目绩效评估中被评为优, 并获得多项省部级科学技术奖和人文社会科学奖。本书正是对多年来相关领域研究成果的总结。本书总结证据推理理论研究的创新成果, 并将理论研究成果应用在证券、金融、科技创新等领域。

本书首先研究证据推理理论的基本概念与理论框架, 并详细研究证据合成的修正方法, 提出两维证据推理理论体系, 最后将理论研究成果应用于相关领域。本书共分 10 章, 第 1 章阐述证据推理理论的产生与发展。第 2 章阐述证据理论的基本概念和理论框架。第 3 章至第 5 章研究证据合成方法、两维语义的证据推理方法和两维递进框架证据合成方法。第 6 章至第 10 章阐述理论研究成果的实际应用。

本书由合肥工业大学的朱卫东教授、吴勇副教授主编。各章的编者如下: 第 1 章朱卫东、库泉, 第 2 章吴勇, 第 3 章朱卫东, 第 4 章张洪涛, 第 5 章孙宜博, 第 6 章朱卫东, 第 7 章张晨, 第 8 章钟俊杰, 第 9 章张洪涛, 第 10 章孙宜博。朱卫东和吴勇负责全书的策划、大纲制定和统纂, 博士生库泉做了大量文字校正工作。

在本书的编著过程中, 参考了大量国内外有关成果, 在此对所涉及的专家和研究人員表示衷心的感谢, 杨善林院士对本书的研究给予了悉心的指导, 在此谨向他们表示诚挚的谢意。另外, 科学出版社的编辑为本书的出版付出了大量的心血, 特此感谢。本书还得到了两项国家自然科学基金项目(项目编号: 71071048, J1424015)的资助, 在此表示感谢。

经过多年的研究, 我们深深感到证据推理理论的研究发展十分迅速, 在

利用多源异构证据进行决策时，还有许多问题需要进一步探讨，希望本书的出版成为我们继续研究的新起点，书中若有不妥之处，请各位专家和读者不吝指教。

作 者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	证据理论的发展历程	1
1.2	证据理论的研究现状	2
1.3	组织结构和章节安排	6
第 2 章	证据理论的基本知识	9
2.1	证据识别框架与基本可信度指派函数	9
2.2	框架的转化	13
2.3	证据的决策规则	14
第 3 章	基于学习的证据合成方法研究	19
3.1	相关证据合成方法	19
3.2	冲突证据的合成方法	24
3.3	基于优化学习的综合系数修正证据合成方法	32
第 4 章	基于两维语义的证据推理方法研究	39
4.1	识别框架的分类与识别框架等价	39
4.2	两维语义信息的表示及融合方法	42
4.3	基于两维语义的群体决策方法	48
第 5 章	两维递进证据框架证据合成方法研究	51
5.1	两维递进证据框架的提出	51
5.2	基于第二维框架信息的证据融合的思路	55
5.3	基于证据源特征信息的证据分组方法	55
5.4	两维递进识别框架下证据分组合成研究	57
第 6 章	基于神经网络的证据推理方法在证券市场专家群体预测信息融合与决策的应用	62
6.1	证券市场专家群体预测方法概述	62
6.2	基于神经网络与证据理论的证券市场专家群体预测信息融合方法	65
6.3	实际应用案例	67
6.4	基于可信度与决策报酬函数的决策	72

第 7 章 基于证据理论的不完全信息商业银行操作风险评价研究	74
7.1 问题的提出	74
7.2 商业银行操作风险评价指标体系研究	80
7.3 基于证据理论的商业银行操作风险评价方法研究	85
7.4 基于证据理论不完全信息商业银行操作风险评价实例	98
第 8 章 基于两维语义的安徽企业自主创新能力综合评价	116
8.1 基于两维语义的安徽企业自主创新能力综合评价指标的确定	116
8.2 基于两维判断矩阵的企业自主创新能力评价指标权重确定	122
8.3 基于两维语义的企业自主创新能力综合评价方法	127
8.4 基于两维语义的安徽企业自主创新能力综合评价应用研究	132
8.5 基于两维语义安徽企业自主创新能力综合评价模型的有效性分析	138
第 9 章 基于两维语义证据推理的科学基金评估方法研究	144
9.1 国家自然科学基金立项评估概况	144
9.2 数据来源	147
9.3 科学基金立项评估实证研究	148
9.4 本章小结	157
第 10 章 基于两维递进框架证据推理的证券分析师荐股评级预测信息融合 研究	158
10.1 传统的证券分析师预测信息分析方法及其缺陷	158
10.2 证券分析师荐股评级预测信息融合模型的构建	160
10.3 证券分析师信息融合模型的实际应用	165
参考文献	173

第1章 绪 论

随着社会的发展与科技进步,知识和数据在急剧增长,需要决策的问题日趋复杂。对复杂决策问题,利用专家的知识、经验和数据解决复杂决策问题成为常用的方法之一,而证据理论提供了一种基于证据(决策者知识、经验与数据)的决策方法。证据理论用集合来表示命题,用信度函数(belief function)表示证据,由于信度函数满足半可加性,因此它能比概率函数更恰当表示信息中的“不确定”和“不知道”,对不确定性问题的描述更接近人的思维习惯。证据理论构建开放性的识别框架(frame of discernment),可以随着决策者对相关事物的知识和经验的增加、对问题理解的不断深入而进行动态调整,符合人对客观事物认知的基本路径。Dempster 合成规则能够较好地处理多个具有模糊和不确定信息的合成问题,在处理不同专家的意见集结问题时,具有一定的优越性。由于证据理论具有较强的理论基础,既能处理随机性所导致的不确定性(uncertainty),也能处理模糊性导致的不确定性,能区分人们认知中的“不知道”和“不确定”,并具有可以依靠证据的积累,不断地缩小假设集等优点,已在人工智能、医疗诊断、专家系统、模式识别、风险评估、环境评估、组织评估、信息融合、多属性决策及群决策等方面得到了广泛的应用。

1.1 证据理论的发展历程

Dempster 在 1967 年的文献《多值映射导致的上下概率》中提出上、下概率的概念,并在一系列关于上下概率的文献中进行了拓展和应用,其后又在文献《贝叶斯推理的一般化》中进一步探讨了不满足可加性的概率问题以及统计推理的一般化问题^[1-5]。Shafer 在 Dempster 研究的基础上提出了证据理论,把 Dempster 合成规则推广到更为一般的情况,并于 1976 年出版《证据的数学理论》,这一著作的出版标志着证据理论真正的诞生^[6],为了纪念两位学者对证据理论所做的贡献,人们把证据理论称为 Dempster-Shafer 证据理论(即 D-S 证据理论)。自从证据理论诞生以来,在将近四十年的发展中,很多学者对证据理论进行了较为广泛的研

2 证据推理理论、方法及其在决策评估中的应用

究,也取得了丰硕的理论研究成果,D-S 证据理论的应用性得到了广泛的证实,这使该理论获得了众多学者的认可,成为一种经典的信息融合理论。

Zadeh^[7]、Smets^[8]、Dubois 和 Prade^[9]、Denoeux 和 Masson^[10],以及 Denoeux 和 Yaghlane^[11]将证据理论拓展到模糊集上,在不同角度上从模糊集对证据理论进行研究^[7~11]。模糊数学的创始人 Zadeh 指出了在证据合成过程中,由于 Dempster 合成法则有归一化的过程,这个归一化的过程可能导致出现背离常理的结论出现,这个“Zadeh 悖论”也是后来学者不断完善和改进证据合成规则的一个重要研究问题。

杨善林等^[12]、Sikder 和 Gangopadhyay^[13]、吴馨和王加阳^[14],以及周勇和王加阳^[15]将粗糙集理论与证据理论相结合进行研究,利用粗糙集对证据获取和基本可信度的确定等问题进行深入研究,并取得了良好的效果^[12~15]。除了将证据理论与模糊集、粗糙集结合研究,Denceux、杨善林、Simard 等也开始将证据理论与优化算法进行结合^[16~19],通过优化的思想对证据进行修正或者利用自学习的功能确定基本可信度函数,也有不少学者将证据理论与支持向量机、层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)进行综合使用。

通过研究,众多学者在传统的 D-S 证据理论的基础上得出很多拓展性的理论,如 Dezert 和 Smarandache 提出一种似是而非和自相矛盾推理方法(Dezert- Smarandache theory, DSMT)^[20, 21],Dubois 和 Prade 在对证据理论中 Dempster 规则修正的基础上,提出了 D-P(Dubois-Prade)合成规则^[22],Yang 和 Xu 提出了证据推理(evidential reasoning, ER)算法,并在实际的决策评估案例中得到广泛的应用^[23~26]; Smets 在 1990 年提出了一种传递信度模型(transferable belief model, TBM)^[27];邓勇在传统证据框架的基础上提出了一种广义的证据理论(generalized evidence theory, GET)^[28, 29]。

1.2 证据理论的研究现状

1.2.1 证据理论的理论研究现状

1) 识别框架的构建及转化方法

在证据理论的应用中,通常首先需要确定一个包含所有可能命题的完备的识别框架。这个框架中的元素要求是互斥的且可以穷举的。对于识别框架的构建方面的研究主要集中在识别框架完备性上。Smets^[30~32]认为人们往往事先难以确定一个完备的识别框架,且识别框架的不完备是造成证据冲突的根源。在他的 TBM 理论中,引入开放世界假设,把对空集的基本概率赋值 $m(\emptyset) \geq 0$ 定义为对“真命题在当前已知的识别框架之外”的信任度,同时证据组合中取消对组合结果的

归一化,而把两个证据组合产生的冲突归于 $m(\emptyset)$ 。邓勇指出 Smets 开放世界假设中存在的问题并对其进行修正,提出一种广义的证据理论,认为在初始获得基本可信度指派时可以将信度指派给识别框架之外的未知元素,并对 Dempster 合成规则进行了修正^[28,29]。Janez 和 Appriou 针对来自不同识别框架的信息源,在 Smets 方法的基础上提出开放识别框架下三种信息的融合方法^[33]。曾成等利用开放识别框架来定义证据,提出一种在识别框架未知(或不完备)条件下表达与组合证据的方法^[34]。徐培玲等运用证据距离和反映证据冲突分配权重的证据冲突强度,区分识别框架的完备性,判断是否需要开放原识别框架^[35]。

在不同识别框架的转化方面,Shafer 给出了识别框架粗化和细化的概念及其性质^[6];Yaghlane 等给出一种缩减识别框架中元素的粗化方法^[36]。Denoeux 和 Yaghlane 在尽量保持原有识别框架中信息的情况下,在焦元(focal element)数较多时,给出通过识别框架粗化简化证据合成计算的方法^[11]。Jøsang^[37]在 D-S 证据理论的基础上,引入证据空间和观念空间的概念提出了主观证据推理(subjective evidential reasoning)理论(也称为主观逻辑),该理论将识别框架中元素状态的集合粗化为基于二元逻辑的识别框架,通过证据空间与观念空间之间的相互映射来表示基于事实证据的不确定性判断,利用观念空间表示知识,知识表示形式与直觉模糊集相似,将人们对事物的认识分为肯定、否定和不确定三个维度,并补充了元素关联度(relative atomicity)。

2) 信度函数的获取方法

在证据框架中,信度函数获取是证据理论决策方法的关键一步。信度函数反映人们对客观世界问题的主观判断,从表现形式上来讲,信度函数可分为点信度函数和区间信度函数。点信度函数是 Dempster-Shafer 框架下的原始信度函数,各焦元对应的信度为一个点值;而区间信度函数的各焦元值限定在有界闭区间内,区间信度函数是点信度函数的泛化。从来源上讲,信度函数一般由专家根据知识经验给出,或根据客观数据构建。

目前,基于专家知识的信度构造方法主要有定性和定量两种。定性方法是直接根据专家的判断构建信度函数,Shafer^[6]及 Smets^[8]讨论了对专家的主观判断量化的方法。然而,这些方法要求专家对信度函数的理论框架非常熟悉,以合理地量化其主观判断,在实际应用中受限。定量方法是通过构建量化模型从专家的主观定性判断中求取信度函数,如 Wong 等^[38]提出的定性信度的公理化结构和信度关系的公理化性质以及由定性偏好关系产生信度函数的方法、Bryson^[39]的从定性偏好产生信度的“定性区分过程”法、Yaghlane 等^[36]的求解由专家偏好关系转化为优化问题的构造方法、Beynon^[40,41]及 Hua^[42]提出的焦元比较法。而定量方法先是基于观察数据,然后根据专家知识利用模糊理论、灰色理论等方法产生信度函数。本质上,这些方法通过专家给出的诸如偏好关系、信度比区间或轮盘赌概率

4 证据推理理论、方法及其在决策评估中的应用

等构建一个与信息一致的信度函数。

基于观察数据的信度函数构建,一般可分为两类,基于小批量样本数据构建和基于工程试验数据构建。Utkin^[43]和 Denoeux^[44]分别使用非精确 Dirichlet 模型和多项式置信区间对由小批量数据构造信度函数的方法进行了研究, Aregui 和 Denoeux 提出了一种应用 Pignistic 概率中的信任集对样本数据构建一致信度函数的方法^[45]。基于工程试验数据构建与应用领域知识密切相关,其精确性与试验数据的精确性相一致,当试验数据出现瞬时异常时,依托它构建的信度函数也会出现相应的异常。

3) 信度函数的合成

信度函数的合成包括点信度函数的合成和区间信度函数的合成。对点信度函数的合成,经典的 Dempster 合成规则在处理冲突和相关证据问题时仍然存在一些缺陷,导致在某些情况下无法获得令人满意的结果,出现了 Zadeh 悖论、完全冲突悖论、一票否决悖论和效用悖论^[46]等问题。

针对由冲突证据引起的悖论,众多改进的合成方法相继被提出。这些改进的证据合成方法大致可以归结为两大类。

第一类方法为针对 Dempster 规则的改进,认为证据高度冲突下使用 D-S 合成组合规则产生不合理的结论是由其归一化步骤所产生的,因此该类方法主要是通过解决如何将冲突重新分配的问题来改进合成规则。典型的有: Smets 提出的将冲突量分配给空集的合成规则^[47]; Yager 的冲突证据完全分配给识别框架,不冲突性的证据采用与运算的合成规则^[48]; Takahiko 的将冲突信度指派分配给基本可信度最大的焦元的吸收法^[49]; Lefevre 的统一合成框架^[50]和孙全基于证据可信度的合成规则^[51]; 梁昌勇基于一致性证据冲突的证据合成方法^[52]等。

第二类方法为针对证据源的修正,认为 D-S 组合规则本身并没有错,在证据高度冲突是证据源提供信息的不稳定造成的情况下,应该首先对冲突的证据进行预处理。典型的有: 林作拴^[53]和杨善林^[16]基于修正系数优化的证据合成规则; Murphy 的平均合成方法^[54]; 邓勇等基于证据距离测度的平均合成方法^[55]; 等等。

在区间信度的合成方面, Lee 和 Zhu 首次定义了区间信度的乘法和加法运算^[56],但是其运算规则中引入了主观性因子,故运算结果具有较大的不确定性和主观性^[57]。在 TBM 框架下, Denoeux 扩展了 D-S 证据理论的一些主要概念,包括可信度、似然度和 Dempster 合成规则和规范化^[58,44]。这些扩展的概念构成了区间信度框架的理论基础。然而,该规则中的融合和归一化是分开进行的,所以得到的融合结果并不是全局最优的,而是次优的,且融合结果的置信区间较宽,不易用其进行决策。Yager^[59]用区间数的计算方法对两个具有区间信度的证据进行合成。Wang 等提出最优的 Dementspter 区间证据组合公式^[57,60]。对于有效且归一化的区间信度合成公式来说,该公式对遍历所有满足约束条件的单值基本可信度分配

(basic probability assignment, BPA) 进行融合, 然后对单值融合结果求极值得到融合后的区间信度。该融合过程是一步进行的, 从而保证了融合结果的最优性。Fu 和 Yang 及冯海山等研究了冲突区间信度的合成方法, 探讨了 Dempster 合成规则在区间信度合成中的适应性^[61,62]。Su 等针对区间信度的优化合成方法导致信度区间太宽而无法达到等问题, 探索了最大信度区间的存在性, 给出了准确合理构造区间信度的步骤^[63]。而 Fu 和 Yang 在 Denoeux 方法的基础上, 构建了非规范化和规范化的带有权重的区间信度合成的优化方法^[64]。

然而, 无论是 Denoeux 和 Masson^[10]还是 Wang 等^[60]的区间信度二次规划合成方法, 都依然存在以下两个问题: 一是区间证据的合成不满足结合律, 即 $(m_1 \oplus m_2) \oplus m_3 \neq m_1 \oplus (m_2 \oplus m_3) \neq (m_1 \oplus m_3) \oplus m_2$; 二是区间信度标准化和二次非线性规划计算复杂, 不便于使用。

4) 证据冲突和相似性度量方法

经典证据理论以 $k = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j)$ 反映两证据间的冲突程度 (conflict degree)。事实上, k 反映的是焦元之间的一种非相互包含程度, 在很多情况下不能充分反映证据间的冲突程度。国内外学者针对冲突证据的度量和证据相似性进行了研究。Jousselme 等将对识别框架所生成的子集空间的一个 BPA 看做一个 2^N 维向量^[65], 构造出两个信度函数之间的距离公式, 用证据体之间的距离来度量证据的冲突程度。Liu 认为单一测度度量证据间的冲突不明确、易混淆, 适用性较小, 提出基于合成信度分配给空集的 mass 函数和信度间的博彩许诺距离 (distance between betting commitments) 的二元测度冲突判定规则^[66]。付超等在文献[52]的基础上, 提出了两证据的一致度分析公式^[67]。杨善林等提出了焦元的距离和相似性的概念, 并给出了焦元距离与相似性的公式^[68]。蒋雯等提出利用经典的冲突系数 k 和 Jousselme 的证据距离 d 共同表征证据之间的冲突程度^[69]。

1.2.2 证据理论在多属性群体决策方法的应用研究

由于证据理论在处理不确定或不完全决策信息上具有独特的优势, 且 Dempster 合成公式可以将多个证据进行合成, 利用该合成公式可将个体专家的决策意见合成为代表群体专家的决策意见, 因此应用证据理论解决不确定多属性群决策问题, 已得到了广泛的关注。多属性群体决策需要在属性和专家信息的表示、属性和专家的权重、多个属性和专家信息的集结等方面展开深入研究。但是, Dempster 合成公式要求合成的证据是相互独立、对各个证据一视同仁、证据之间不能有较强的冲突, 这些条件与群体专家决策时的实际情况相差较大, 从而限制了将证据理论直接用于群体专家决策意见的合成。为了使 D-S 证据合成适用于上述情况, 人们对其进行修正研究^[26,70-73]。修正工作主要集中在以下两个方面: 一是如何科学合理的获取信度;

二是如何解决由于信息源权重的影响而导致不确定性增加。

在如何解决由于信息源权重的影响而导致不确定性增加的问题上, Yang 和 Singh 及杨春与李怀祖分别提出一种改进的方法, 该方法的核心 (core) 是将信息源的重要性相对化, 再根据相对权重对各信息源进行基本概率分配^[70,71]。但该方法仍存在一定的缺陷, 如关键因素有可能对评价起到完全支配的作用, 而使其他因素评价信息失效等。为了克服上述缺点, Yang 和 Xu 针对传统证据推理方法存在的缺点, 提出了证据推理应满足的四个公理, 并对传统的证据推理方法进行了改进, 提出了一种新的证据推理方法, 运用该方法将多属性和多人意见进行合成^[26]。Wang 等及 Xu 等将证据推理算子和应用范围进一步推广, 针对属性值为效用区间, 构建了区间型证据推理方法, 并对权重也为区间型的多属性决策进行了研究^[57,24]。

在信度的获取方面, Beynon 等运用证据理论来解决层次分析法中的问题, 提出一种新的多属性决策方法——DS/AHP 法, 该方法允许决策者提供不完全信息, 并通过在每个影响因素 (准则) 下, 各方案和由所有备选方案组成的识别框架 Θ 之间进行比较产生知识矩阵获取信度^[39]。Beynon 用数学方法证明了 DS/AHP 的部分性质, 对该方法进一步进行完善^[40,41], 并将该方法应用到多属性群体决策当中。Hua 等在 Beynon 的方法的基础上构建了一种新的 DS-AHP 法^[42]。姚爽等也对 DS/AHP 方法进行了改进, 并通过引入证据距离将改进后的方法拓展到群决策中^[74]。杨萍和刘卫东研究了基于证据理论的群决策层次评价方法, 定量描述专家的模糊评价, 在此基础上构造专家信度函数^[72]。张全等^[73]、王坚强和何波^[75]将证据理论引入多属性决策当中, 取得了一系列的成果, 丰富和完善了证据理论在多属性决策中的应用。

1.3 组织结构和章节安排

本书的组织结构和章节之间的关系

第 1 章: 绪论。分析证据理论研究的背景和意义, 总结国内外在证据理论相关领域的研究现状, 为后续章节的内容做铺垫。

第 2 章: 证据理论的基本知识。阐述了证据理论中证据识别框架、基本可信度指派函数、信任函数、似然函数和众信度函数 (commonality function) 等基本概念, 并对 Dempster 合成法则进行分析, 在此基础上, 研究了基于证据理论的决策规则, 为后续章节的研究做出理论铺垫。

第 3 章: 基于学习的证据合成方法研究。研究了相关证据的合成和冲突证据的合成, 并对其中典型的证据合成公式进行分析和总结。在此基础上, 提出一种

基于 BP^①神经网络 (neural network) 的证据合成方法, 同时对该方法的几个基本性质进行分析和证明, 是第 6 章基于神经网络的证据推理方法在证券市场专家预测中的应用的理论基础。

第 4 章: 基于两维语义的证据推理方法研究。将传统的证据框架拓展到两维语义证据框架之上, 研究证据识别框架的分类和证据识别框架的等价, 在此基础上提出基本的两维语义的证据推理方法, 主要包括两维语义信息的内涵、语义表示以及两维语义信息的比较和集结。此外, 又研究了基于两维语言的群决策方法。该章是第 8 章和第 9 章的理论基础。

第 5 章: 两维递进证据框架证据合成方法研究。在第 4 章内容的基础上, 第 5 章主要研究两维递进证据框架的构建原则、流程, 同时研究了基于第二维证据框架的证据合成思路, 并提出了一种基于证据源特征的证据分组合成方法。第 5 章为第 10 章的实际应用打下理论基础。

第 6 章: 基于神经网络的证据推理方法在证券市场专家预测信息融合与决策的应用。将第 3 章中所提的基于 BP 神经网络的证据合成方法应用在我国证券市场专家预测数据融合的问题上, 通过实际案例对第 3 章的内容进行说明和验证。

第 7 章: 基于证据理论的不完全信息商业银行操作风险评价研究。通过对操作风险评价的决策理论结构的演变, 对基于证据理论的操作风险评价过程中的关键问题深入讨论, 研究不完全信息下商业银行操作风险评价属性分类约简方法与合成规则。

第 8 章: 基于两维语义的安徽企业自主创新能力综合评价。通过将定性指标中的专家给出的两维语义评价信息和定量指标值转化为证据体, 构建基于两维语义的企业自主创新能力综合评价模型, 是第 4 章基于两维语义的证据推理方法研究的实际应用。

第 9 章: 基于两维语义证据推理的科学基金评估方法研究。通过对现有科学基金立项评估方法的分析, 指出现行方法存在的不足, 将第 4 章提出的两维语义证据推理方法应用到科学基金立项评估中, 构建了基于两维语义证据推理的科学基金立项评估方法, 并通过实例对两维语义证据推理方法和现行的方法进行对比分析。

第 10 章: 基于两维递进框架证据推理的证券分析师荐股评级预测信息融合研究。首先, 分析证券分析师预测信息融合现状, 并提出传统证券分析师信息融合中存在的问题。其次, 针对实际的证券分析师数据基于两维递进框架证据推理方法构建了信息融合模型, 将证券分析师的预测信息进行融合, 通过实际案例进行验证, 并与传统的处理方法进行比较分析。

① BP 即反向传播, back propagation。

具体章节结构框架如图 1.1 所示。

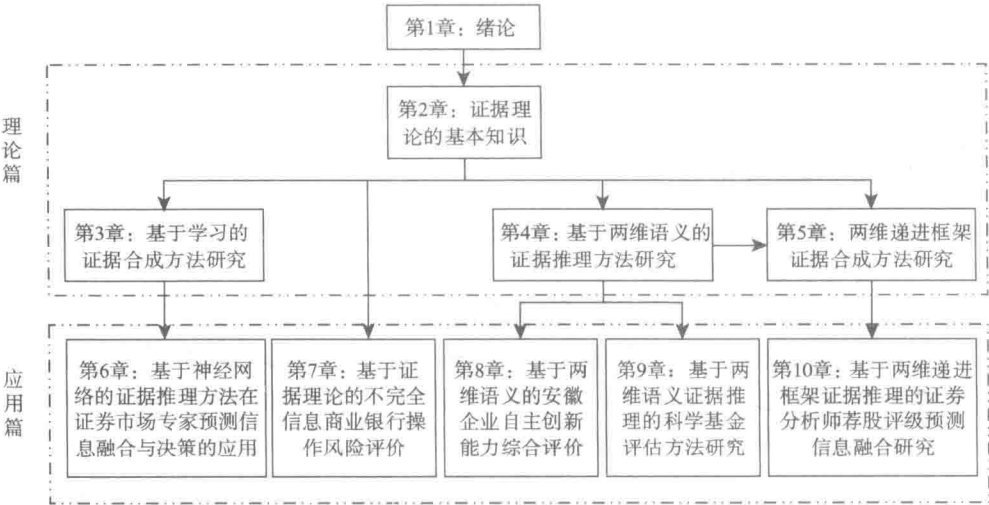


图 1.1 本书的章节结构框架