



D-S证据理论融合技术 及其应用

● ● ●
D-S Evidence Theory of Fusion Technology and Application

● 缪燕子 方健 马小平 汪永东 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国家自然科学基金资助项目

D-S 证据理论融合技术 及其应用

缪燕子 方 健 马小平 汪永东 著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书论述了 D-S 证据理论融合方法的一些基本概念和关键技术,具体包括 D-S 证据理论的基本概念和基础理论、D-S 证据理论的证据冲突和一致性相关问题、D-S 证据理论在模糊集和粗糙集上的推广和研究,以及 D-S 证据理论融合技术在煤与瓦斯突出危险性预测上的应用和在矿井主通风机上的应用。本书总结了作者的科研成果,论述力求概念清晰、表达准确、层次分明,并突出了理论联系实际,将给读者带来一定的启发。

本书适合国内高校和科研院所从事信息融合理论、自动控制领域、信息处理及煤矿安全监测系统研究的科技人员阅读,也可以作为控制工程方向研究生的教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

D-S 证据理论融合技术及其应用 / 缪燕子等著. — 北京: 电子工业出版社, 2013.10
ISBN 978-7-121-21737-1

I. ①D… II. ①缪… III. ①人工智能 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 253002 号

策划编辑: 余 义

责任编辑: 余 义

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 6.75 字数: 135 千字

印 次: 2013 年 10 第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

在信息技术飞速发展的过程中,为了能够处理面向各种复杂应用背景的多样化、大容量、高速、实时的数据,多传感器信息融合(数据融合)技术越来越受到各领域科学工作者的重视。信息融合的方法有很多种,包括估计理论方法、统计推断方法和人工智能方法等,对于现实系统中的信息都具有不确定性、不精确性和不完备性,一般采用基于置信度量理论的统计推断方法较多。而 D-S (Dempster-Shafter) 证据理论作为较成熟的统计推断方法之一,在解决不确定性推理问题中充分展示了其优越性,并且 D-S 证据理论又能很方便地与其他一些方法相结合,使得它具有更大的使用范围和使用前景。为了使 D-S 证据理论更加广泛而有效地应用于实际,有必要对 D-S 证据理论进行更加深入的研究。本书将对 D-S 证据理论研究的最新进展做一个较为全面的总结,并在此基础上对 D-S 证据理论从纵向和横向两个方面做进一步深入研究,以推动 D-S 证据理论的理论研究和应用向前发展。

本书共分为 7 章。第 1 章主要对 D-S 证据理论的研究进展进行简要的归纳与分析,并指出其目前存在的主要不足之处和发展趋势。第 2 章主要阐述 D-S 证据理论的基本概念和基础知识,主要对其中的证据相关、焦元“爆炸”和基本概率赋值函数(BPAF)的构造三个问题的研究进展进行分析,并分别提出作者的观点。第 3 章针对证据冲突的处理进行深入研究,列举并分析目前比较有代表性的针对证据冲突处理而对 D-S 合成规则进行改进的方法,分析各自的优缺点,同时引进一些概念,并提出一种新的同时解决冲突性证据和一致性证据的合成规则,通过理论分析和实例结果来证明这种新的合成规则相比其他合成规则的优势所在。第 4 章主要介绍模糊集的基本概念和基础知识,总结目前比较有代表性的把 D-S 证据理论向模糊集推广的方法和结论,同时提出本文的基于相似度的模糊 D-S 证据理论合成规则,并给予证明。第 5 章主要介绍 D-S 证据理论在粗糙集上的推广,结合实例说明利用粗糙集中的近似质量构造 D-S 证据理论中的基本概率赋值函数的过程。第 6 章通过实例说明,对比几种常用的矿井煤与瓦斯突出危险性预测方法,利用 D-S 证据理论对上述结果进行决策融合,得到的最终预测结果比单一方法得到的结果更准确、更合理。第 7 章主要对 D-S 证据理论在矿井通风机故障诊断系统中的应用进行实例研究,有效地利用了设备实时数据、领域专家知识、历史数据、设备标准数据、设备特性数据多方面的信息,将模糊神经网络作为 D-S 证据理论的证据体,进行分级融合,提高了融合的准确度。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目（60974126/61303183）、江苏省自然科学基金（BK20130204）的资助。在撰写出版过程中得到了国内自动化控制领域专家费树岷教授、关新平教授、岳东教授的帮助，得到了中国矿业大学信息与电气工程学院自动化专业的老师和研究生的关心和热情帮助，特别感谢李培硕士研究生在本书的文字编辑排版过程中给予的大力支持。书中部分章节参阅了段新生、权太范、刘先省、林志贵、李成武等人的著作与论文，在此一并表示感谢。

本书第一作者还特别感谢在德国汉堡大学博士联合培养期间张健伟教授、张厚祥博士的热情帮助和精心指导。另外，感谢在中国海军航空工程大学访问期间，何友教授和关欣老师的热情帮助。

本书可供从事自动化控制、信号与信息处理、煤矿安全监控等领域研究的人员参考。由于作者业务水平有限，不当和错误之处在所难免，希望读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	引言	1
1.1.1	D-S 证据理论的优点	2
1.1.2	D-S 证据理论的应用	2
1.2	D-S 证据理论研究进展	2
1.2.1	Dempster-Shafer 证据理论	2
1.2.2	D-S 证据理论研究的现状	3
1.3	D-S 证据理论存在的问题	6
1.4	本章小结	7
第 2 章	D-S 证据理论	8
2.1	基本概念	8
2.1.1	识别框架	8
2.1.2	基本函数	8
2.1.3	四个函数之间的联系	13
2.2	D-S 合成规则	14
2.3	D-S 合成规则存在的问题及对策	18
2.3.1	D-S 合成规则存在的问题	18
2.3.2	证据相关的处理	19
2.3.3	焦元“爆炸”的处理	22
2.3.4	基本概率赋值函数的构造	23
2.4	本章小结	24
第 3 章	证据冲突的处理	25
3.1	一些改进的规则	25
3.2	本书改进的证据合成规则	29
3.2.1	相关概念的引入	29
3.2.2	改进的合成规则	30

3.3	数值实验	33
3.4	本章小结	35
第 4 章	D-S 证据理论在模糊集上的推广	36
4.1	模糊集理论基础 ^[84]	36
4.2	模糊集上的 D-S 证据理论	38
4.2.1	信度函数的扩展	40
4.2.2	基于相似度的模糊证据合成规则 ^[83]	41
4.2.3	本书的模糊证据理论合成规则	42
4.2.4	数值实验	44
4.3	D-S 证据理论向模糊集的延伸	47
4.4	本章小结	48
第 5 章	D-S 证据理论在粗糙集上的推广	49
5.1	粗糙集基本理论	49
5.1.1	基本概念简介	49
5.1.2	粗糙集	51
5.1.3	知识依赖	52
5.1.4	属性约简与决策规则约简	53
5.2	粗糙集上的 D-S 证据理论	54
5.2.1	对象的进一步划分	55
5.2.2	决策属性转换及证据信息的获取	58
5.3	本章小结	59
第 6 章	D-S 证据理论在煤与瓦斯突出危险性预测上的应用	60
6.1	煤与瓦斯突出	60
6.2	煤与瓦斯突出机理	61
6.3	煤与瓦斯突出预测方法	62
6.3.1	单项指标法	62
6.3.2	综合指标 D 和 K 法	63
6.3.3	地质指标法	64
6.3.4	地质统计法	64
6.3.5	无线电波透视探测法	65
6.3.6	钻屑指标法	65
6.3.7	钻孔瓦斯涌出初速度法	66

6.3.8 神经网络预测法	66
6.4 BP 神经网络基本原理	67
6.5 D-S 证据理论在煤与瓦斯突出危险性预测上的应用	68
6.6 本章小结	73
第 7 章 D-S 证据理论在矿井主通风机故障诊断决策上的应用	74
7.1 矿井通风机	74
7.2 矿井通风机常见故障振动特性分析	75
7.3 基于 D-S 证据理论的矿井主通风机故障诊断融合结构	80
7.3.1 主通风机故障诊断决策融合模型的建立	80
7.3.2 故障融合诊断的基本步骤	81
7.4 矿井主通风机故障诊断融合结果分析	82
7.4.1 故障识别框架的构成	82
7.4.2 融合证据的选择	83
7.4.3 证据的基本概率赋值函数的构造	86
7.4.4 融合决策规则与分析	89
7.5 本章小结	90
参考文献	91

第1章 绪论

1.1 引言

信息融合在信息化时代里处于特别重要的地位。信息融合技术无论是在现代防御系统中还是在现代工业生产和管理系统中,都是不可缺少的重要技术,是信息科学领域内部的一项高新技术。尤其是随着工业大系统的蓬勃发展和未来信息战的需求,多传感器信息融合技术越来越受到各国科学家的高度重视^[1-7]。在军事领域,信息融合最初是为满足战争的需求而发展起来的。目前,军事领域仍然是信息融合最大的应用领域,也是发展最快的领域。尤其是面对未来高新技术信息战的挑战,军事领域的信息融合已成为一个非常敏感和活跃的研究领域,包括中国在内的许多国家都把它列为下一阶段重点发展的关键技术。在民用领域,随着人们对信息融合研究的深入和各种传感器技术、电子芯片的发展,尤其是用户对系统高性能的指标需求,信息融合技术在民用方面也得到了广泛的应用。

然而,在多传感器信息融合系统中,各个传感器提供的信息往往都是不完整、不精确的,具有某种程度的不确定性及模糊性,甚至有可能是矛盾的。信息融合不得不依据这些不确定性信息进行推理,以达到目标身份识别和属性判决的目的。在某种意义上,不确定性推理就是处理那些具有不完全、不确定、不清晰的信息或数据,是目标识别和属性信息融合的基础。关于不确定性推理的成果目前已相当丰富,主要有贝叶斯推理、D-S 证据理论、模糊集理论、神经网络和粗糙集理论等。虽然每种方法都有各自的优点,但 D-S 证据理论以其在不确定性的表示、度量和组合方面的优势(见 1.1.1 节)和广阔的应用空间而受到特别的重视。另外,D-S 证据理论又能很方便地与其他一些方法相结合,使得它有更大的使用范围和使用前景。

D-S 证据理论作为一种不确定性推理,近年来有了很大的发展,先后成为国外和国内的一个研究热点。然而,其中大多数属于应用研究,先后出现了大量的应用文章^[8-29],而理论研究相对较少^[30-35]。本书将对 D-S 证据理论研究的最新进展做一个较为全面的总结,并在此基础上对 D-S 证据理论从纵向和横向两个方面做进一步深入研究,以推动 D-S 证据理论的理论研究和应用向前发展。

1.1.1 D-S 证据理论的优点

- (1) D-S 证据理论具有比较强的理论基础, 既能处理随机性所导致的不确定性, 也能处理模糊性导致的不确定性;
- (2) D-S 证据理论可以依靠证据的积累, 不断地缩小假设集;
- (3) D-S 证据理论能将“不知道”和“不确定”区分开来;
- (4) D-S 证据理论可以不需要先验概率和条件概率密度;
- (5) D-S 证据理论既能考虑客观数据的作用, 又能考虑人的主观经验作用。

1.1.2 D-S 证据理论的应用

信息融合技术有着广泛的应用领域, D-S 证据理论作为信息融合最为成熟的方法之一, 其应用领域也必然非常广泛^[10-30]。

目前, D-S 证据理论在决策分析^[19,22,25,26]、预测、人工智能和专家系统^[15,32]等领域都有了一定的应用, 具体来说, 如检测^[9,10]、模式识别^[11,16,18]、分类^[12,23]、故障诊断^[17]、医疗诊断^[30,37]、金融决策和管理^[19,25]、地球科学^[20,21]、目标的探测、跟踪、识别和态势评估与决策分析^[16, 24,29,31]等方面。随着人们对 D-S 证据理论的研究逐渐深入, 它必将有着更为广阔的应用前景。

1.2 D-S 证据理论研究进展

1.2.1 Dempster-Shafer 证据理论

D-S 证据理论是 Dempster 于 1967 年研究统计问题时首先提出的^[33]。他给出了上、下概率的概念及其合成规则, 第一次明确给出了不满足可加性的概率, 而 Shafer 把它推广到更加一般的情形并使之系统化、理论化^[34,35]。因此, 该理论称为 Dempster-Shafer 证据理论 (简称 D-S 证据理论), 它是一种重要的信息融合方法, 是对贝叶斯推理方法的推广。D-S 证据理论用先验概率分配函数去获得后验的证据区间, 证据区间量化了命题的可信程度和似然率。D-S 证据理论放松了贝叶斯理论需要统一的识别框架、完整的先验概率和条件概率知识等要求。另外, 贝叶斯理论只能将概率分配函数指定给完备的互不包含的假设, 而 D-S 证据理论可将证据指定给互不相容的命题, 也可指定给相互重叠、相容的命题, 也就是说, D-S 证据理论能够解决一定程度的不确定性, 这便是 D-S 证据理论的优点所在^[36]。

1.2.2 D-S 证据理论研究的现状

国内外学者对 D-S 证据理论的研究无外乎在理论研究和应用研究两个方面。国外对 D-S 证据理论的研究较早,尤其是理论研究主要在 20 世纪 90 年代以前,后期主要集中于 D-S 证据理论的应用研究,理论研究相对较少。国内对 D-S 证据理论的研究起步相对较晚,研究热潮主要出现于 20 世纪 90 年代后,出现了理论研究与应用研究齐头并进的局面。

关于 D-S 证据理论的理论研究主要包括两个大的方面:一是对 D-S 证据理论自身的完善和发展进行研究;二是研究如何将 D-S 证据理论与其他方法或理论进行结合,对 D-S 证据理论进行推广,使 D-S 证据理论更方便地应用于实际,并且使用效果也更好。

1. D-S 证据理论自身的完善

对 D-S 证据理论自身完善的研究主要集中于以下四个方面:第一,证据冲突的处理;第二,证据相关的处理;第三,随着证据空间维数的增加,焦元“爆炸”(焦元呈几何级数增加)的处理;第四,D-S 证据理论应用于实际的理论支持,主要包括 D-S 证据理论中的基本概率赋值函数(BPAF)的构造和 D-S 证据理论的算法实现的研究。

关于 D-S 证据理论中证据冲突的研究源于 D-S 合成规则在某些情况下引起的悖论。D-S 合成规则为了避免将非 0 的概率赋给空集而采用了归一化因子,但是由于归一化使得 D-S 公式(即 D-S 合成规则)的合成结果常常违背常理,特别是当证据间的总冲突为 1 时,D-S 合成规则无法使用。为了解决这一问题,很多学者针对如何有效利用冲突信息进行了大量的研究。Yager 提出了 Yager 公式^[38]。Yager 公式没有采用归一化因子,而是将冲突信息全部赋给了识别框架 Θ (又称为假设空间、辨识框架、未知项等)。杜文吉等人针对证据源本身的相对优先级、可靠性及重要性不同,提出了加权的 Dempster 证据合成规则^[39]。Murphy^[40]认为在证据组合前,应将所有证据进行平均,然后将平均后的证据源进行组合。Jousselme 等人^[41]提出了证据间距离的概念,为后续学者研究证据冲突提供了很好的基础。孙全^[42]、邓勇^[45]等人通过引入证据源可信度的概念,将冲突信息按证据源的可信度进行分配,余下的分配给识别框架。李弼程等人^[43]引入证据源的平均支持程度,把证据源的总冲突的概率对单个证据源平均分配。肖明珠^[44]等人利用证据间的交叉融合程度系数对一致性证据进行交叉融合,将冲突信息平均分配给各个焦元。张山鹰等人^[46]提出了吸收法,把冲突信息分配给产生冲突焦元中基本概率赋值较大的焦元。杜峰^[47]等人利用证据特征提取,引入证据源的可信度,把冲突信息按证据源的可信度进行分配,使其合成规则在处理冲突信息时表现出极大的优越性,可以说是近年来证据冲突处理的一个典型的代表。

对 D-S 证据理论中证据相关的处理的研究源于 D-S 合成规则中要求参与合成的证据

之间要求是相互独立的。人们认为这个要求过于严格, 为了使得 D-S 证据理论的使用范围更大, 很多学者进行研究, 期望能够消除参与合成的证据之间相互独立的要求。肖人彬等^[48]通过定义证据强度及证据相关度的概念, 给出了修改的合成方法, 并指出经典合成方法是其特例。而孙怀江认为^[49]两个证据 E_1 和 E_2 对应的 m_1 和 m_2 本身并不包含相关信息, 他提出一种新的模型来表示 D-S 证据理论中相关性问题的, 他认为其中两个相关证据是由一个独立源证据分别与另外两个独立源证据通过正交合成得到, 相关证据的合成可以归结为这三个源证据的正交和。罗志增等人^[50]通过定义证据的强度来定义证据相关强度, 以此来确定各焦元的基本概率赋值并达到消除证据间的相关性。杨善林等人^[51]提出一种面向问题的基于可变参数的相关证据的合成方法。

D-S 证据理论的焦元“爆炸”是指当证据的焦元随着证据空间维数的增加呈几何级数增长。为了解决合成规则在应用时存在的焦元呈指数“爆炸”问题, 一些学者对其进行了拓广, 相继出现了扩展的 Dempster-Shafer (EDS)、条件化 Dempster-Shafer (CDS) 及修改的 Dempster-Shafer (MDS) 等^[52-54]。Denceux^[55]提出了证据推理的神经网络实现。Simard 等人提出了一种称为修剪的 D-S (Truncated Dempster-Shafer) 算法^[56]。其主要思想是, 首先给定要保留的焦元的最大个数 MaxNum 及 BPA 的上限 MaxBel 和下限 MinBel, 然后判断 BPA 数值的大小, 以决定其对应的焦元是否应该保留。

为了把 D-S 证据理论更好地应用于实际, 很多学者做了大量的研究。在实际问题中, 如何构造 D-S 证据理论中的基本概率赋值函数 (BPAF), 是一个非常复杂问题。很多学者都进行了努力, 但是没有得到对所有情况都非常适合的方法。大多是针对某个问题或某些问题而提出的各种方法。主要代表有: 侯俊^[57]利用距离的概念, 从距离到 BPAF 之间构造一个映射, 他给出了三种不同的建立映射的方法, 从而得到了三种不同的 BPAF 的构造方法。Yong Hu^[58]、柳毅等人^[59]利用神经网络训练一定的样本数据来得到 D-S 证据理论中的基本概率赋值函数, 其实这已将 D-S 证据理论与神经网络结合起来解决 D-S 证据理论本身存在的问题。为了使 D-S 证据理论能方便地应用于实际, Barnett 针对“每个证据要么支持 (要么不支持) 识别框架 Θ 的某个假设 $\{h\}$ ”这类非常简单的证据结构, 提出了一个快速实现 D-S 方法的算法^[60]。Gordon 和 Shortliffe 对那些可以表示成树状层次空间的一类 D-S 证据理论问题, 提出了 G-S 算法^[32]。Pearl 在层次假设空间中使用了一种贝叶斯形式进行推理, 以达到简化计算量的目的^[61]。Dubois 和 Prade 提出了一致近似 (Consonant Approximation) 方法^[62], Tessem 提出了 (k, l, x) 近似算法^[63]。Simard 等人提出了一种称为修剪的 D-S (Truncated Dempster-Shafer) 算法^[56], 等等。

2. D-S 证据理论与其他理论的结合

D-S 证据理论虽然在不确定性推理方面有着广阔的应用前景, 但是, 由于它自身的

一些弱点,导致其直接应用于实际还存在一些困难。这些困难主要表现在以下两个方面:第一,D-S 证据理论是建立在经典的集合论上的,而现实世界中有很多量,用经典的集合论很难给予合理的解释和归类,如专家系统中的一些语义事件和规则;第二,上面提到的基本概率赋值函数 BPAF 的构造。第一个问题的解决方法主要是把 D-S 证据理论向模糊集和粗糙集等理论进行推广。第二个问题的解决方法主要是把其他的一些方法(如模糊推理、神经网络等)与 D-S 证据理论相结合。目前,这些工作的主要代表有下面一些。

Yen^[64]首先将 D-S 证据理论推广到概率范围,先验证据用条件概率表示,用 Zadeh 的“粒度”重新定义焦元;其次,组合规则分三步完成:确定基本信任分配,利用 Dempster 规则组合,最后转化为概率价值。Guan 等人^[65]把这三步合并为一个公式。Torra^[66]从概率论的角度,定义信息损失,建立一个新的组合规则,克服 Dempster 规则组合中不具有的特点,即两个证据的基本概率分配函数由单个概率确定,但组合后新的概率分配函数则不能由单个概率确定。王先甲等人^[67]通过定义一个证据诱导分布函数,实现 D-S 证据理论框架向概率论框架的转化。Spies^[68]建立条件事件和离散随机集的关系,并引入条件信任函数。Mahle^[69]用随机集理论和条件事件代数提出条件证据推理(CDS),并把条件 D-S 证据理论推广到了模糊集,形成模糊条件 D-S 证据理论(FCDS)。Zadeh 是较早将 D-S 证据理论推广到模糊集的学者之一^[70],他首先将证据推理一致性关系的粒子推广到一个条件可能性分布,然后定义期望确定和期望可能作为信任函数和似真函数的推广。Smets^[71]提出模糊集信任函数的概念,采用模糊事件的概率对关系函数数学期望进行推广。Yen^[72]提出一组新的信度函数(包括信任函数、似真函数等)及组合公式,将证据推理中的一致性关系推广到模糊一致性关系的基础上,利用可能性理论中的可分离性假设来表示证据推理中的独立性概念,同时完成对模糊一致性关系的组合。Denoeux^[73]考虑到确定基本概率赋值的主观性及不确定性,采用区间值表示基本概率赋值方法,并提出模糊信任函数的方法(Fuzzy-valued Belief Structure, FBS)^[74]。黄鹂等人^[75]利用经验决策表及粗糙集理论和 D-S 证据理论的关系,计算待决策信息的有关证据的基本概率指派和条件概率指派。陈秀琼等人^[76]将粗糙集理论中属性重要度的思想引入到 D-S 证据理论中,以衡量证据的重要性,这种方法可以把专家的主观判断和过去可用的知识与数据综合考虑,使群体决策得到更符合实际的结论。李亚飞^[77]提出一种基于粗糙集理论的证据获取方法,并对证据合成和应用进行了研究。胡春海等^[78]利用粗糙集理论对大量的传感器数据进行处理,得到最简单的特征数据,提出 D-S 证据理论和粗糙集理论在数据融合中的应用。关于其他理论与 D-S 证据理论的结合主要在于利用其他的理论(如模糊集理论、神经网络等)来构造 D-S 证据理论中的基本概率赋值函数,从而解决这个 D-S 证据理论本身不好解决的问题。

1.3 D-S 证据理论存在的问题

虽然 D-S 证据理论在处理不确定性信息方面的优势非常明显,国内外许多学者也对 D-S 证据理论的完善做了大量的研究工作,使得 D-S 证据理论更加完善,能够更加方便、有效和广泛地应用于实际。但是, D-S 证据理论本身还存在一定的不足,上述学者对 D-S 证据理论的研究和改进大多是针对某个或某几个具体的方面来对 D-S 证据理论进行改善,使得 D-S 证据理论满足了某些特定的、小范围的需要,但并没有使得 D-S 证据理论作为一个理论达到应有的成熟和完善。D-S 证据理论是一个开放的理论,它与信息的获取与处理、数学、控制科学、计算机科学、管理科学等领域的联系日益密切。随着我们研究的深入及实际应用系统的日渐广泛和扩大, D-S 证据理论与其他知识和理论的联系越来越多。从目前国内外对 D-S 证据理论的研究情况和上述的分析可以知道, D-S 证据理论在理论和应用这两个方面都还存在一些需要进一步完善和改进的地方,无论是纵向方面(D-S 证据理论自身的完善)还是横向方面(D-S 证据理论与其他理论的结合)。就目前 D-S 证据理论的发展来看, D-S 证据理论的不足主要表现在以下几个方面。

(1) D-S 证据理论中关于证据冲突的处理方面虽然有很多学者进行了大量的研究并取得了很大的进展,但是目前基本上还是比较“孤立”地考虑解决证据的冲突,也就是说,基本上是单纯的考虑证据的冲突信息的处理,没有同时考虑冲突信息和一致信息,这样造成很多改进的合成规则偏重于冲突信息的处理,而忽视了对一致性信息的处理。因而,作者认为我们应该寻找一种同时考虑冲突信息和一致信息的一般性的 D-S 证据理论合成规则。

(2) 虽然有很多学者对 D-S 证据理论与模糊集理论的结合进行了研究,但基本上还是停留在理论研究方面,针对实际应用还没有一个一般性的理论成果。因而,需要在 D-S 证据理论在模糊集上的推广方面做进一步的深入研究,使得 D-S 证据理论能够发挥更大作用。

(3) D-S 证据理论在粗糙集上的研究目前还非常少,几乎是个空白。而粗糙集是一个去粗取精、去伪存真的锐利武器,它在信息处理(如信息挖掘)方面有着巨大的作用。因而,有必要将 D-S 证据理论向粗糙集进行推广,使得 D-S 证据理论在使用范围和使用效果上都上一个新台阶。

(4) 如何构造合理的基本概率赋值函数一直是影响 D-S 证据理论广泛应用的关键和难点。这些问题虽然有不少学者做了一定的研究和探讨,并取得了一些成果,但是这些方法实际操作起来有一定的主观性和操作困难,需要进一步研究,通过一个操作性更强、

更具一般性、使用效果更好的方法来得到基本概率赋值函数，以便解决 D-S 证据理论使用中存在的最大困难。

1.4 本章小结

本章首先通过对作为信息融合的一种重要的方法——D-S 证据理论的优点和广泛的应用前景的介绍，说明了本书内容的研究价值和意义。然后，本章对 D-S 证据理论的研究进展做了详细的综述，并指出其中尚存在的几点问题。

第 2 章 D-S 证据理论

1976 年, Shafer 的《证据的数学理论》一书的出版标志着 D-S 证据理论的诞生。经过十几年许多学者对 D-S 证据理论的发展, 人们逐渐看到了 D-S 证据理论在不确定性推理方面强大的作用和广阔的应用前景, D-S 证据理论得到了国际学术界的承认, 并先后在国外和国内掀起了研究 D-S 证据理论的热潮。

决策层信息融合在信息处理方面具有很高的灵活性, 系统对数据传输带宽要求不高, 能有效地反映环境或目标各个侧面不同类型的信息, 而且可以处理异步信息, 因此目前信息融合所取得的成果大多是在决策层上的, 并构成了信息融合研究的一个热点。决策层融合所采用的方法主要有贝叶斯推理、D-S 证据理论、模糊集理论、专家系统等, 其中以 D-S 证据理论应用最为广泛。

2.1 基本概念

2.1.1 识别框架

定义 2.1.1.1^[30] 设有一个判决问题, 对于该问题, 所能认识到的结果的集合为 Θ , 那么, 所关心的任一命题都对应于 Θ 的一个子集。为了强调集合 Θ 所具有的认识论特性, Shafer 称其为识别框架。

Shafer 指出^[34], 识别框架 Θ 的选取依赖于我们的先验知识, 依赖于我们的认识水平, 以及我们已经知道的和想要知道的。 Θ 的子集称为一个命题 (Proposition)。 Θ 的幂集 2^Θ 表示了所有可能的命题集, 即由 Θ 的所有子集构成的集合。识别框架 Θ 通常是一个非空的有限集合, R 是识别框架幂集 2^Θ 中的一个集类, 即表示任何可能的命题集, (Θ, R) 称为命题空间。因为 R 有集合性质, 故可以在其上定义并、交、补及包含等关系。识别框架是 D-S 证据理论的基础, D-S 证据理论的每个概念和函数都是基于识别框架的, 证据的组合规则也是建立在同一个识别框架基础之上的。

2.1.2 基本函数

定义 2.1.2.1^[30] 设 Θ 为识别框架。如果集函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ (2^Θ 为 Θ 的幂集) 满足:

$$(1) \quad m(\emptyset) = 0$$

$$(2) \quad \sum_{A \subset \Theta} m(A) = 1 \quad (2-1)$$

则称 m 为识别框架 Θ 上的基本概率赋值函数 BPAF (Basic Probability Assignment Function, 又称为基本可信度分配函数、基本概率指派函数、质量函数或 mass 函数)。

定义 2.1.2.2^[30] 设 Θ 为识别框架, $m: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 为框架 Θ 上的基本概率赋值函数, 则称由

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad (\forall A \subset \Theta) \quad (2-2)$$

所定义的函数 $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 为 Θ 上的信度函数 (Belief Function)。

对于 $A \subset \Theta$, $m(A)$ 也称为证据对命题 A 的基本概率赋值。

$m(A)$ 表示指派给 A 本身的置信度, 即支持命题 A 本身发生的程度, 而不支持任何 A 的真子集, 它是人们凭经验给出的, 或者根据传感器所得到的数据构造而来。Shafer 认为^[34], 在一批给定的证据与一个给定命题之间没有什么一定的客观联系能够确定一个精确的支持度: 一个实在的人对于一个命题的心理描述也不是总能够用一个相当精确的实数来表示, 而且也并不是总能确定这样一个数。但是, 对于一个命题, 他可以进行一种判决, 在他通盘考虑了一个给定的证据组中有时含混、有时混乱的感觉与理解之后, 能够说出一个数字来表示根据他本人判断出的该证据支持一个给定命题的程度, 即他本人希望赋予该命题的那种置信度。Shafer 对于人根据证据为一个命题赋予一个置信度的理解可以用图 2-1 中的图形来表示^[30]。

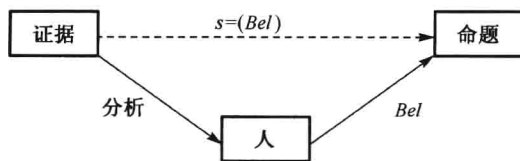


图 2-1 人、证据、命题之间的关系

在证据、命题与人之间的实线表示人可以对证据加以分析, 从而得到他本人希望赋予命题的信度; 在证据与命题之间的虚线表示一种人假想出来的证据对于命题的支持关系, 是人经过证据分析后所赋予的证据对命题的支持关系, 支持度 $s = Bel$ 。所以, 支持与信度是人根据证据判断出的对命题看法的两个方面。

这种基于证据分析, 确定相信一个命题为真的程度的方法, 称为 D-S 证据理论^[30]。

按照 Shafer 的观点, 证据处理的数学模型为: