DOI：10.13700/j.bh.1001-5965.2006.01.016
2006年 1月 北京航空航天大学学报 January 2006
第32卷 第1期 Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics Vol.32 No.1

基于D-S证据理论的知识融合及其应用

韩立岩 周 芳

（北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100083）

摘 要：知识融合是上世纪末提出的一种新概念，它不但能够融合数据、信息，而且还可对方法、经验，甚至人的思想进行融合.针对企业失败预警问题，提出了一种基于D-S(Dempster-Shafer)证据理论的新的知识融合方法，该方法主要包括数学建模、知识融合以及结果分析与决策三个步骤.给出了基于D-S证据理论知识融合方法的具体实现：提出了一种数学建模方法，将信息熵的概念引入到基础概率分配的确定中；针对企业失败预警问题，推导了基于D-S证据组合理论的知识融合公式；提出了一种简洁的融合结果分析与决策方法.最后通过对具有典型企业风险特性的两个上市公司进行分析和处理，验证提出的基于D-S证据理论的知识融合方法的有效性.结果表明，该方法能有效降低企业失败预警方法的不确定性.

关 键 词：D-S证据理论；知识融合；企业失败预警；算法；处理方法

中图分类号：TP 212；F 275

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2006)01-0065-04

Knowledge fusion based on D-S evidence theory and its application

Han Liyan Zhou Fang

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Knowledge fusion is a new concept proposed at the end of last century. The fused knowledge is referred as method, experience and idea as well as data and information. A new knowledge fusion method based on D-S(Dempster-Shafer) evidence theory was presented and applied to corporate failure prediction. There were three steps in the method: mathematic modeling, knowledge fusing and discriminating. The implementation of these steps was developed. The information entropy theory was employed to determine the basic probability assignment of knowledge. The knowledge fusing equation was induced following D-S evidence combination rule. A concise discriminating regulation was proposed to analyze the fusion result. The data of two listed companies was used to show the validity of the presented method. The results indicate this method can reduce the uncertainty of the prediction model effectively.

Key words: D-S evidence theory; knowledge fusion; corporate failure prediction; algorithms; processing

知识融合是在信息融合基础上发展起来的一个新的融合概念，它的提出是知识以及知识管理等技术快速发展的结果.知识融合是知识管理的一个重要工具，它的融合对象不局限于传感器获取的数据和信息，而是可拓广到各种方法、专家经验、甚至思想等等.

目前，国内外关于知识融合技术的研究处于起步阶段，在理论上和实现上均有相当难度，因此关于这方面的文献比较少，对知识融合还没有明确的定义.能够查到的公开发表的文献仅有1999年Warren[1]给出的知识融合概念的描述，他分析了数据融合、信息融合以及知识融合之间的区别，认为知识融合只需少量的输入信息，还能加入主观判断和识别.本文认为，知识融合是来自不同知识源的知识，相互作用和支持，形成新知识的过程.

D-S(Dempster-Shafer)证据组合理论是由Dempster[2]于1967年首先提出，再由Shafer[3]于1976

收稿日期：2005-07-14

作者简介：韩立岩(1955—)，男，北京人，教授，hanly1@163.com.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年进一步发展和完善而形成的结果.利用证据理论作为融合方法,就是通过不同观测结果的信任函数,利用 Dempster 证据组合规则将之融合,再根据一定的规则对组合后的信任函数进行判断,最终实现融合和决策选择.

企业失败预警是一种企业失败风险的预估技术,它通过对企业数据进行分析,来估计企业失败的可能性.目前已有多种评判企业失败的分析方法,最为经典的是单变量分析[4]、多元判别分析(MDA)[5]和 Logit 模型[6]等.单变量分析采用二分类检验法确定判别分界点,指标单一,难以反映企业的整体财务状况;MDA 通过建立 Z 评分模型,形成判别区间,但模型对样本的假设过于严格,且样本的选择偏差对判别结果影响较大,限制了模型的适用范围;Logit 模型利用 Logistic 回归分析建立概率判别模型,能适用于非线性情况,但 Logistic 方法本身对残差项和变量的严格假设同样限制了模型的适应性.目前研究和应用较多的是 MDA 和 Logit 模型,这两种方法形式简单,运算量小,判断结果都较理想.本文利用知识融合的思想,将 Z 评分模型[5]和 Logit 模型[7]这两种方法的判别结果进行融合.这两种方法不仅在样本的适用假设上相互补充,且所选指标的观察角度各有侧重,能够提高企业失败判别的准确性,并且这种基于融合处理的判别方法具有比较强的适用性.

本文主要针对企业失败预警问题,提出一种基于 D-S 证据理论的知识融合方法,用以降低已有企业失败判别方法的不确定性.论文第 1 部分给出 D-S 证据理论的基本原理,第 2 部分提出基于 D-S 证据理论的知识融合方法,第 3 部分将本文提出的方法应用于企业失败预警中,并通过实际案例,验证论文提出方法的有效性.

1 D-S 证据理论

D-S 证据理论是关于证据和可能性推理的理论.它主要处理证据加权和证据支持度问题,并且利用可能性推理来实现证据的组合.从数学角度来讲,证据理论是概率论的一种推广.对应于概率论中的分布函数和概率密度分布函数,D-S 证据理论中定义了信任函数和基本概率分配.

信任函数:设 Θ(在 D-S 理论中被称为识别框架)为一有限集,2^{Θ} 为 Θ 的所有子集的集合.信任函数 Bel 被定义为从 2^{Θ} 到区间$[0,1]$的一个映射,并且满足以下条件:

1) $\mathrm{Bel}(\varnothing)=0$,$\varnothing$为空集;

2) $\mathrm{Bel}(\Theta)=1$;

3) 对于 2^{Θ} 中任意 K 个元素 $X_1,\cdots,X_K$,有

$$\mathrm{Bel}(X_1\cup\cdots\cup X_K)\geqslant\sum_{i=1}^{K}\mathrm{Bel}(X_i)+\cdots+(-1)^{K-1}\mathrm{Bel}(X_1\cap\cdots\cap X_K)$$

基本概率分配:对于识别框架 Θ,其基础概率分配 m 也是从 2^{Θ} 到区间$[0,1]$的一个映射,它满足以下条件:

1) $m(\varnothing)=0$;

2) $\sum_{X\subseteq\Theta}m(X)=1$

同时,m 与 Bel 之间满足

$$\mathrm{Bel}(Y)=\sum_{X\subseteq Y}m(X)\tag{1}$$

似然函数:根据 Bel 定义中的第 3 个条件,对于 $X\subseteq\Theta$,有

$$\mathrm{Bel}(X)+\mathrm{Bel}(\overline{X})\leqslant 1\tag{2}$$

定义 $\mathrm{Pl}(X)=1-\mathrm{Bel}(\overline{X})$

Pl 被称为 Θ 上的似然函数.

若将识别框架 Θ 看作是可能性的集合,则信任函数表示对可能性的信任程度,而似然函数则表示对可能性的不怀疑程度.利用这两个函数可以描述证据对可能性的支持度.

设有 M 个证据在 Θ 上提供的基础概率分配分别为 $m_1,m_2,\cdots,m_M$,Dempster 证据组合规则给出,这 M 个证据组合后得到的识别框架 Θ 上的基础概率分配 m 的计算式为

$$\left.\begin{aligned}m(X_i)&=\frac{\sum_{\cap X_{ji}=X_i}\prod_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})}{1-\sum_{\cap X_{ji}=\varnothing}\prod_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})},\ X_i\neq\varnothing\\ m(\varnothing)&=0\end{aligned}\right\}\tag{3}$$

其中 X_i,X_{ji}均为 Θ 中的焦点元素,$i=1,2,\cdots,N$,N 为 Θ 中焦点元素的数目,$j=1,2,\cdots,M$,M 为证据数.

2 知识融合方法

从对 Bel 的定义知道,与概率论相比,D-S 证据理论放宽了概率论概率分布定义中的第 3 个条件(概率论中第 3 个条件为等式).这一条件的放宽使得 D-S 证据理论具有:

1) 能够解决矛盾证据的组合问题;

2) 能够对多种层次、多种来源的证据进行组合;

3) 能够区分不确定和不信任.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上述优点使得 D-S 证据理论在信息融合中得到非常广泛的应用.

知识融合要求融合算法必须能够对方法、数据、甚至思想等多源、多层次的知识进行融合,D-S 证据理论的第 2 个优点很好地满足了知识融合的这一需求.虽然 D-S 证据理论组合的固有缺点是计算量随焦点元素的增加呈几何级数增长[8],而企业失败预警问题中焦点元素只有失败、非失败以及不确定 3 种情况,采用 D-S 证据理论实现融合数据量不会很大.因此论文基于 D-S 证据理论,提出了一种新的知识融合方法,能够应用于企业失败的判别问题.下面给出该方法的具体实现过程.

根据第 1 部分讨论的 D-S 证据理论及其组合规则,提出基于 D-S 证据理论的知识融合方法主要包括 3 个步骤:

1) 融合问题的数学建模,即确定融合问题的识别框架,并给出各种知识在识别框架上的基础概率分配;

2) 知识的融合过程;

3) 根据融合结果,采用一定的判别准则,确定获得最大支持度的可能性,并做出相应的决策.

图 1 给出了基于 D-S 证据理论的知识融合方法应用于企业失败预警时的实现流程图.

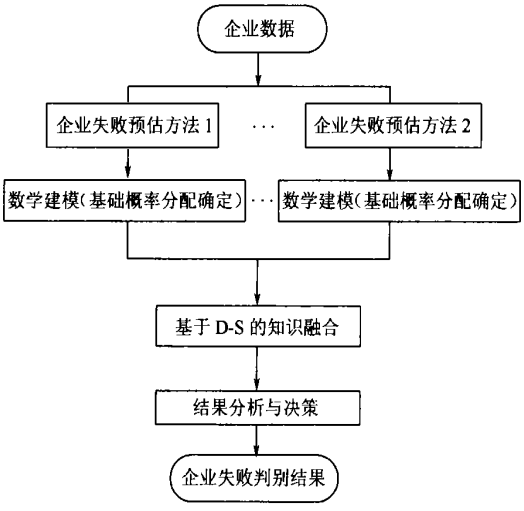


图 1　基于 D-S 证据理论知识融合方法应用于企业失败预警的实现流程

2.1　数学建模

企业失败预警中,被融合的知识源是各种企业失败预估方法提供的企业是否失败的预估结果.利用 D-S 证据理论进行知识融合,令 F 表示失败,$\overline{F}$ 表示非失败,其识别框架为

$$\Theta=\{F,\overline{F}\} \tag{4}$$

很多企业失败预估方法是将企业提供的数据代入到特定公式中,计算出一个数值,通过该数值与先验阈值进行比较来判断企业是否失败.基于这一特性,本文提出企业失败预估模型的基础概率分配的确定方法为:首先利用模糊的思想,选定一个模糊资格函数,根据预估方法计算出的数值与先验阈值之间的距离,将预估方法的判别结果转换为[0,1]区间的一个数值 p_F,它表示预估方法给出的企业失败的概率,$1-p_F$ 则表示企业非失败的概率;然后按照一定规则,根据 p_F 来确定企业失败的基础概率分配 $m_j(F)$、非失败的基础概率分配 $m_j(\overline{F})$ 以及预估方法判别结果的不确定性 $m_j(\Theta)$.

借鉴信息理论中熵的概念,提出预估方法不确定性的计算公式为

$$m_j(\Theta)=-k\left[p_F\log_2 p_F+(1-p_F)\log_2(1-p_F)\right] \tag{5}$$

其中 $k\in(0,1)$ 为调节因子.根据式(5),当预估方法 100%判断企业失败或非失败时,方法的不确定性最小为 0;当 50%判断企业失败时,不确定性最大为 k.可以看出式(5)的计算结果符合预估不确定性的物理意义.

在给出预估方法不确定性的定量描述之后,$m_j(F)$和 $m_j(\overline{F})$可以根据下列公式计算

$$m_j(F)=p_F(1-m_j(\Theta)) \tag{6}$$

$$m_j(\overline{F})=(1-p_F)(1-m_j(\Theta)) \tag{7}$$

可以证明,由式(5)～式(7)得出的基础概率分配符合第 1 部分中给出的基础概率分配定义.

2.2　知识融合

计算出多种企业失败预估方法在识别框架 Θ 上的基础概率分配之后,就可以利用式(3)给出的证据组合公式实现多种方法的知识融合.设 M 种企业失败预估方法在 Θ 上的基础概率分配分别为 $m_1,\cdots,m_M$,则根据式(3)得到融合后,F 的基础概率分配为

$$m(F)=\frac{\sum\limits_{\cap X_{ji}=F}\prod\limits_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})}{1-\sum\limits_{\cap X_{ji}=\varnothing}\prod\limits_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})} \tag{8}$$

$\overline{F}$ 的基础概率分配为

$$m(\overline{F})=\frac{\sum\limits_{\cap X_{ji}=\overline{F}}\prod\limits_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})}{1-\sum\limits_{\cap X_{ji}=\varnothing}\prod\limits_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})} \tag{9}$$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

融合后所得结果的不确定性为

$$m(\Theta)=\frac{m_1(\Theta)\cdot m_2(\Theta)\cdots m_M(\Theta)}{1-\sum_{\cap X_{ji}=\varnothing}\prod_{j=1}^{M}m_j(X_{ji})} \quad (10)$$

其中 $X_{ji}=F,\overline{F}$ 或 $\Theta, j=1,\cdots,M, i=1,2.$

2.3 结果分析与决策

根据知识融合得到的 $m(F)$, $m(\overline{F})$ 以及 $m(\Theta)$,采用一定的判决准则,能够得到精确度更高的企业失败预估结果.基于证据理论的判决准则有多种[9],基于信任函数和似然函数,给出一种简洁的判决准则.

根据式(1)、式(2)计算出 F 与 $\overline{F}$ 的信任函数 $\mathrm{Bel}(F)$,$\mathrm{Bel}(\overline{F})$和似然函数 $\mathrm{Pl}(F)$,$\mathrm{Pl}(\overline{F})$,有

$$\mathrm{Bel}(F)=m(F) \quad (11a)$$

$$\mathrm{Pl}(F)=1-m(\overline{F}) \quad (11b)$$

$$\mathrm{Bel}(\overline{F})=m(\overline{F}) \quad (11c)$$

$$\mathrm{Pl}(\overline{F})=1-m(F) \quad (11d)$$

由式(11a)～(11d)可知

$$\mathrm{Pl}(F)-\mathrm{Bel}(F)=\mathrm{Pl}(\overline{F})-\mathrm{Bel}(\overline{F})$$

所以,可以直接根据信任函数进行决策.信任函数的物理含义为证据对 F 或 $\overline{F}$ 的支持程度,因此得到下述判决准则:

$$\left.\begin{array}{ll}F & m(F)>m(\overline{F})\\ \overline{F} & m(\overline{F})>m(F)\end{array}\right\} \quad (12)$$

3 应用于企业失败预警的实例分析

本节以2个上市公司在2002年度的财务状况为例,选择Z模型和Logit模型企业失败预估方法,并采用本文提出的基于D-S理论的知识融合方法对这2种模型进行融合处理,最后根据融合结果来判别企业在2004年是否失败.

3.1 实例1

根据上市公司600700在2002年的财务数据,分别采用Z模型和Logit模型进行企业失败预估,利用式(5)～式(7)确定这两种模型的基础概率分配,并令Z模型得到的基础概率分配为 m_Z,Logit模型得到的基础概率分配为 m_L;采用本文的知识融合方法对2种模型进行融合处理,利用式(8)～式(10)计算出融合后的基础概率分配值.上述基础概率分配值见表1.

根据融合结果,在本例中有

$$m(F)>m(\overline{F})$$

利用式(12)进行判断,该企业为失败.

表1 上市公司600700的知识融合数据

基础概率分配值	F	$\overline{F}$	Θ
m_Z	0.8028	0.0458	0.1514
m_L	0.9998	0.0000	0.0002
m	1.0000	0.0000	0.0000

3.2 实例2

同样,采用本文的知识融合方法对上市公司600857进行企业失败估计,得到表2的结果.

表2 上市公司600857的知识融合数据

基础概率分配值	F	$\overline{F}$	Θ
m_Z	0.2508	0.2492	0.5000
m_L	0.2487	0.2513	0.5000
m	0.3567	0.3576	0.2857

据表2中的融合结果,在该实例中有

$$m(F)<m(\overline{F})$$

则根据式(12),该企业为非失败.

利用知识融合方法对上述2个实例进行处理,得到的企业失败判别结果与企业的实际情况是相吻合的.从表1和表2看出,融合后 Θ 的基础概率分配值减小,因此基于D-S的知识融合方法能够减小方法的不确定性;表1中 F 和表2中 $\overline{F}$ 的基础概率值增大,因此基于D-S的知识融合方法提高了估计结果的准确性.另外,在表2中,直接根据Z模型和Logit模型得到的结果是相互矛盾的,采用基于D-S的知识融合方法能够对这种矛盾证据的情况进行处理,得到合理的结果,并且提高了企业失败估计的准确性.

综上所述,本文提出的基于D-S证据理论的知识融合方法能够通过融合不同的证据,很好地实现企业失败的估计.

4 结束语

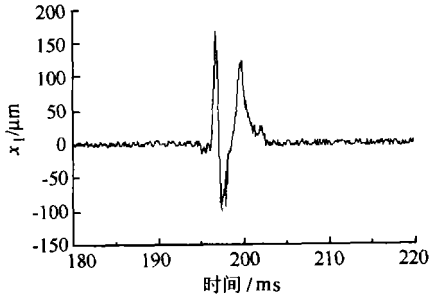
本文提出了一种基于D-S证据理论的知识融合方法,详细讨论了该方法在企业失败预警问题中的应用,并通过对上市公司失败风险进行实例分析,验证了方法的有效性.

D-S证据理论中的组合公式(3)仅适用于不相关证据的组合.本文在应用公式(3)实现融合时,没有考虑多种证据的相关性,因此在本文工作的基础上,进一步的研究工作需要对证据的相关性进行讨论,并改进组合规则,提高融合的准确性.

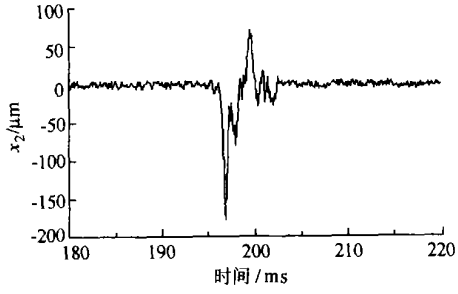
(下转第73页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

响应曲线图.从图中可以看到,转子在受到接近最大位移冲击时,基本上在 2 个振荡周期内很快地稳定下来,这和计算仿真结果基本相一致.



a　系统大端



b　系统小端

图 8　系统大幅度冲击响应图

4　结 束 语

以电磁力为控制变量,通过电磁力构件反算控制电流,避开电磁力非线性问题,为电磁轴承准确建模创造了条件.在电磁铁单边工作方式下,系统的刚度设计不必再依赖于工作点电流,可以设定较小的基础电流实现较高的反馈刚度.较小的基础电流及电磁铁单边工作方式降低了电磁铁的功率损耗.针对转子在高刚度与大范围不同的动力学特性,设计不同的控制器,利用模糊控制方法使控制器有机地结合,解决了转子大范围稳定和高刚度的矛盾.

参考文献 (References)

[1] Schweitzer G, Bleuler H, Traxler A. Active magnetic bearings—basics[A]. In: Properties and Application of Active Magnetic Bearings [C]. Switzerland: Hochschulverlag, 1994

[2] 李新生,杨作兴,赵　雷,等. 磁轴承磨床电主轴全局线性化研究[J].机械工程学报,2002,38(10):122～126
Li Xinsheng, Yang Zuoxing, Zhao Lei, *et al*. Study on global linearization for grinding spindle with active magnetic bearings[J]. Chinese J Mechanical Engineering, 2002, 38(10): 122～126(in Chinese)

[3] Li L, Mao J. Feedback linearisation of magnetic beating actuators for a uniform upper bound of force slew rate[J]. IEE Proceedings: Electroic Power Applications, 1999, 146(4): 378～382

[4] 张德魁. 高速电磁轴承磨床电主轴的研究[D]. 北京:清华大学工程物理系,2000
Zhang Dekui. Research on high speed AMB grinding electro spindle [D]. Beijing: Department of Engineering Physics, Tsinghua University, 2000(in Chinese)

[5] Wang L X. Adaptive fuzzy system and control: design and stability analysis[J]. Prentice-HaH, Englewood Cliffe, J J, 1994

[6] Buckley J J. Sugeno type controllers are universal controllers [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 53(3): 299～303

[7] 张德魁,赵　雷,赵鸿宾.电流响应速度及力响应速度对电磁轴承性能德影响[J]. 清华大学学报,2001,41(6):23～26
Zhang Dekui, Zhao Lei, Zhao Hongbin. Effect of current response rate and force response rate on performance of magnetic bearing systems [J]. Journal of Tsinghua University, 2001, 41(6): 23～26(in Chinese)

(上接第 68 页)

参考文献 (References)

[1] Warren L H. Strategic information synthesis by globular knowledge fusion[A]. In: Information, Decision and Contro, IDC99 Proceedings[C]. Adelaide: SA, 1999. 407～412

[2] Dempster A. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping [J]. Am Math Statist, 1967, 38:325～339

[3] Shafer G. A mathematical theory of evidence [M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976

[4] Beaver W H. Financial ratios as predictors of failure[J]. Journal of Accounting Research, 1966, 17(supplement): 71～111

[5] Altman E I. Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy [J]. Journal of Finance, 1968, 23: 589～609

[6] Ohlson J A. Financial ratios and the probabilistic prediction of bankruptcy[J]. Journal of Accounting Research, 1980, 18: 109～131

[7] 乔　卓,薛　锋,柯孔林. 上市公司财务困境预测 Logit 模型实证研究[J]. 华东经济管理,2002,16(5):103～104
Qiao Zhuo, Xue Feng, Ke Konglin. The empirical research on predicting financial distress in listed companies using logit model [J]. East China Economic Management, 2002, 16(5): 103～104(in Chinese)

[8] Barnett J A. Computational methods for a mathematical theory of evidence [A]. In: Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Vancouver: B C, 1981. 868～875

[9] 何　友,王国宏,陆大金,等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2000.31～32
He You, Wang Guohong, Lu Dajin, *et al*. Multisensor information fusion with applications[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2000. 31～32(in Chinese)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net