

文章编号: 1672-2892(2011)02-0219-05

## 基于 Haenni 方法的证据冲突原因分析

胡丽芳<sup>1</sup>, 关欣<sup>1,2</sup>, 何友<sup>1</sup>, 邓勇<sup>3</sup>

(1.海军航空工程学院 信息融合技术研究所, 山东 烟台 264001; 2.国防科学技术大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073;  
3.上海交通大学 电子信息学院, 上海 200240)

**摘要:** 由于 Dempster 组合规则所存在的不足, 在组合冲突信息时, 会得出与直觉相反的结论。针对 Zadeh 悖论, Haenni 给出了反驳, 但冲突产生的原因分析不够全面。鉴于此, 本文在他们的基础上, 总结出冲突产生的原因, 它不仅与传感器受干扰有关, 与识别框架不完整也有关系, 其中识别框架不完整还包括框架中的元素不详尽, 出现了新目标和在两两证据进行推理过程中目标丢失导致的潜在冲突。

**关键词:** 冲突证据; Dezert-Smarandache 理论; Dempster 组合规则; 信息融合; 不确定性  
**中图分类号:** TN957.52<sup>+4</sup> **文献标识码:** A

## Reason analysis of conflicting evidence based on Haenni's method

HU Li-fang<sup>1</sup>, GUAN Xin<sup>1,2</sup>, HE You<sup>1</sup>, DENG Yong<sup>3</sup>

(1.Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai Shandong 264001, China;  
2.The Institute of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China;  
3.School of Electronic, Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** D-S evidence theory is a very useful tool in dealing with uncertainty problems, but counter-intuitive results are often obtained in intelligent reasoning. Haenni gave some confutation based on Zadeh's criticism of Dempster rule of combination. However, the reasons for conflict among evidences given by Haenni are not comprehensive. In this paper, the reasons for conflict among evidences are analyzed and summarized. One reason is that sensors are disturbed. The other is that the framework is not integrated, which also includes incomplete elements in the framework, new objects outside the framework, and lost objects leading to potential conflict in the reasoning process of two evidences.

**Key words:** conflict evidence; Dezert-Smarandache Theory(DSmT); Dempster rule of combination; information fusion; uncertainty

D-S 证据理论作为一种不确定推理方法, 正在受到越来越多的关注, 这不仅是因为 D-S 证据理论比传统概率论能更好地把握问题的未知性和不确定性, 还因为 D-S 证据理论提供了一个非常有用的合成公式, 使我们能融合多个信源提供的证据<sup>[1]</sup>。但自从模糊理论的创始人 Zadeh 提出悖论以来<sup>[2]</sup>, 国内外专家就修改组合规则还是修改证据源争论不休<sup>[3-12]</sup>。他们的工作主要可以归纳为 3 类。第 1 类方法坚持 Dempster 组合规则的乘性策略, 通过对冲突信息进行重新分配, 对采用乘性策略所得结果进行修正; 第 2 类方法采用加性策略的组合规则解决冲突证据的合成问题, 即在证据高度冲突时, 首先对冲突证据进行预处理, 然后再使用 Dempster 组合规则; 第 3 类方法是乘性策略和加性策略相结合的组合方法, 即实际上是在乘性策略和加性策略之间所做的折衷。所有的工作认为导致冲突的原因要么是传感器受干扰, 要么是识别框架不完整。而在实际中发现融合问题是复杂的, 导致冲突的原因不仅仅如此。故本文的工作主要是通过几个经典算例, 总结导致冲突的具体原因。

### 1 理论基础

#### 1.1 D-S 证据理论

设  $U$  表示  $X$  所有可能取值的一个论域集合, 且所有在  $U$  内的元素间是互不相容的, 则称  $U$  为  $X$  的识别框架。

收稿日期: 2010-07-05; 修回日期: 2010-09-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(61032001); 国家自然科学基金资助项目(60572161, 60972160); 全国优秀博士论文作者专项资金资助项目(200443)

$U$  的幂集  $2^U$  构成命题集合  $2^U$ 。当  $U$  中元素的个数为  $n$  时, 命题集合所代表的空间大小为  $2^n$ 。

**定义 1** 设  $U$  为一识别框架, 则函数  $m: 2^U \rightarrow [0,1]$  在满足条件: 1)  $m(\emptyset) = 0$ ; 2)  $\sum_{A \subset U} m(A) = 1$  时, 称  $m(A)$  为  $A$  的基本概率赋值(Basic Probability Assignment, BPA)。

$m(A)$  表示对命题  $A$  的精确信任程度, 表示了对  $A$  的直接支持。如果  $m(A) > 0$ , 则称  $A$  为焦元, 所有焦元的并称为核。[BEL( $A$ ), PL( $A$ )] 称为焦元  $A$  的信任度区间, BEL 和 PL 分别称为信任函数(Belief function)和似真度函数(Plausibility function)。在此基础上提出  $n$  条相互独立的证据组合规则。

**定义 2** 设  $m_1, m_2, \dots, m_n$  分别是其对应的基本概率赋值, 则

$$m(C) = \begin{cases} \frac{\sum_{A_i \cap B_j \cap \dots \cap Z_k = C} m_1(A_i) m_2(B_j) \dots m_n(Z_k)}{1 - K} & \forall C \subset U \quad C \neq \emptyset \\ 0 & C = \emptyset \end{cases} \quad (1)$$

式中  $K = \sum_{A_i \cap B_j \cap \dots \cap Z_k = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) \dots m_n(Z_k) < 1$ , 它的大小反映了证据冲突程度。系数  $\frac{1}{1-K}$  称为归一化因子, 它的作用是为了避免在合成时将非零的概率赋给空集。

### 1.2 DSMT 组合规则

**定义 3** 假定辨识框架  $U$  上性质不同的两个证据  $A$  和  $B$ , 其焦元分别为  $A_i$  和  $B_j$ , 基本概率赋值函数分别为  $m_1(A_i)$  和  $m_2(B_j)$ , 则有 DSMT 组合规则:

$$m(X) = \begin{cases} 0 & X = \emptyset \\ \sum_{A_i, B_j \in D^U, A_i \cap B_j = X} m_1(A_i) m_2(B_j) & X \neq \emptyset \end{cases} \quad (2)$$

### 1.3 Smets 规则

**定义 4** 假定辨识框架  $U$  上性质不同的两个证据  $A$  和  $B$ , 其焦元分别为  $A_i$  和  $B_j$ , 基本概率赋值函数分别为  $m_1(A_i)$  和  $m_2(B_j)$ , 则有如下组合规则:

$$m(X) = \sum_{A_i, B_j \in 2^U, A_i \cap B_j = X} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad (3)$$

## 2 冲突证据问题的提出

### 2.1 Zadeh 悖论

模糊理论的创始人 Zadeh 提出的悖论如下。

例 1 一宗谋杀案, 有 3 个怀疑对象 Peter, Paul, Mary, 有 2 个目击证人提供的证据分别为  $m_1(\{\text{Peter}\}) = 0.99$ ,  $m_1(\{\text{Paul}\}) = 0.01$ ,  $m_1(\{\text{Mary}\}) = 0$ ;  $m_2(\{\text{Peter}\}) = 0$ ,  $m_2(\{\text{Paul}\}) = 0.01$ ,  $m_2(\{\text{Mary}\}) = 0.99$ 。

运用 D-S 证据理论,  $m(\{\text{Peter}\}) = 0$ ,  $m(\{\text{Paul}\}) = 1$ ,  $m(\{\text{Mary}\}) = 0$ 。融合结果可以看出: 可能性很小的事件经过 D-S 证据理论融合后成为完全发生的事件, 即最不可能是杀人凶手的人被判定为凶手。这显然是不合理的。

### 2.2 Haenni 的反驳

Haenni<sup>[13]</sup>认为 Zadeh 的悖论不是 Dempster 组合规则的问题, 是 Zadeh 的例子中描述的模型不符合事实情况, 是误用 Dempster 组合规则的问题。还认为原因可能是识别框架不够详尽或提供的证据不够准确, 需要对证据进行折扣计算。参照 Zadeh 的悖论, 他举了医生诊断病人的例子。

例 2 设  $U = \{M, C, T\}$ , M 代表脑膜炎, C 代表脑震荡, T 代表瘤, 2 个专家  $E_1$  和  $E_2$  的结论如下:

$E_1$ : 我有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎, 有 1% 的把握确定病人得了脑震荡。

$E_2$ : 我有 99% 的把握确定病人得了瘤, 有 1% 的把握确定病人得了脑震荡。

经过证据表示, 可得:  $m_1(A) = \begin{cases} 0.99 & A = \{M\} \\ 0.01 & A = \{C\} \end{cases}$ ,  $m_2(A) = \begin{cases} 0.99 & A = \{T\} \\ 0.01 & A = \{C\} \end{cases}$

经 Haenni 分析, 如果冲突产生的原因是识别框架不够详尽, 证据应该重新表示。即  $U = \{M, C, T\}$  不完整, 应

该是  $U = \{\emptyset, M, C, T, MC, MT, CT, MCT\} = 2^{\{M, C, T\}}$ ,  $E_1$  说有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎, 意味着有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎但没有别的问题, 或者有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎和可能在框架范围内的别的毛病, 或者有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎和可能不在框架范围内的别的毛病。如果认定没有其余的病, 定义有 99% 的把握确定病人得了脑膜炎和可能在框架范围内的别的毛病。

$$\text{经过证据表示, 可得: } m_1(A) = \begin{cases} 0.99 & A = \{M, MC, MT, MCT\} \\ 0.01 & A = \{C, MC, CT, MCT\} \end{cases}, m_2(A) = \begin{cases} 0.99 & A = \{T, MT, TC, MCT\} \\ 0.01 & A = \{C, MC, CT, MCT\} \end{cases}。$$

$$\text{运用 Dempster 组合规则, 得到 } m(A) = \begin{cases} 0.9801 & A = \{MT, MCT\} \\ 0.0099 & A = \{MC, MCT\} \\ 0.0099 & A = \{CT, MCT\} \\ 0.0001 & A = \{C, MC, CT, MCT\} \end{cases}, \text{表明病人很有可能同时得了脑膜炎和瘤。}$$

如果认为冲突产生的原因是传感器受到干扰, 假定知道 2 个传感器的可信度分别为 0.8, 修改后的证据可以

$$\text{表示为: } m_1(A) = \begin{cases} 0.792 & A = \{M\} \\ 0.008 & A = \{C\} \\ 0.2 & A = \{M, C, T\} \end{cases}, m_2(A) = \begin{cases} 0.792 & A = \{T\} \\ 0.008 & A = \{C\} \\ 0.2 & A = \{M, C, T\} \end{cases}。$$

$$\text{运用未归一化的 Dempster 组合规则, 得到 } m(A) = \begin{cases} 0.1584 & A = \{M\} \\ 0.0033 & A = \{C\} \\ 0.1584 & A = \{T\} \\ 0.04 & A = \{MCT\} \\ 0.6399 & A = \emptyset \end{cases}。$$

### 3 冲突产生的原因分析

#### 3.1 识别框架不完整

冲突产生原因之一是识别框架不完整, 其中包括框架描述的元素不详尽, 或出现了新目标, 或随着证据条数增加原有目标丢失。以例 1 为例进行分析。

如果冲突产生的原因是识别框架中元素不详尽, 则运用 DSMT 组合规则, 得到  $m(\{Paul\}) = 0.0001$ ,  $m(\{Peter \cap Paul\}) = 0.0099$ ,  $m(\{Peter \cap Mary\}) = 0.9801$ ,  $m(\{Mary \cap Paul\}) = 0.0099$ 。融合结果说明 Peter 和 Mary 杀人的可能性都很大且旗鼓相当, Paul 杀人的可能性最小。

如果产生的冲突原因是出现了新目标, 则运用 Smets 规则, 得到  $m(\{Paul\}) = 0.0001, m(\varphi) = 0.9999$ , 其中  $\varphi$  是原始识别框架中没有考虑进去的 1 个或若干个假设, 这就是所谓的开世界, 在这个例子中表示新的怀疑对象, 可能是 1 个, 也有可能是多个。

D-S 证据理论得到的融合结果百分之百相信 Paul 是杀人凶手, 这显然也有可能是在证据进行两两推理时去掉了另外 2 个嫌疑对象, Peter 和 Mary 出现了潜在冲突。

当然识别框架不完整也与基本概率赋值的生成机制有关, 这里由于信源提供的证据不足, 无法进行判断具体原因是元素不详尽还是出现了新目标抑或是丢失目标而导致的潜在冲突。

同理, 例 2 中的冲突原因有可能是识别框架不完整, 包括病人可能同时得了脑膜炎和瘤, 或出现了新的疾病, 或是因为排除脑膜炎和瘤而导致的潜在冲突, 而仅凭现有的证据要进行具体判断尚存一定的难度。

例 3 设识别框架为:  $U = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$ , 2 条证据为:  $m_1(A_1) = 0.5, m_1(A_2, A_3) = 0.5$ ;  $m_2(A_1, A_3) = 0.4, m_2(A_4) = 0.6$ 。

Dempster 组合规则计算得出  $m_{12}(A_1) = 0.5, m_{12}(A_3) = 0.5$ 。证据推理排除了命题  $A_2$  出现的可能性。在接下来的证据组合中会产生潜在冲突。当系统又获得一条新证据  $m_3(A_2) = 0.5, m_3(A_4) = 0.5, m_{12} \oplus m_3 = m(\emptyset)$ , 出现潜在冲突, 推理无法得出有效结论。这类可能存在的潜在冲突, 在证据两两组合的情况下很容易爆发。由于嵌套证据组合后, 忽略部份假设命题, 推理后降低了不确定性。因而潜在冲突可以看作减小不确定性付出的代价, 当证据的不确定性增大时, 潜在冲突随之增大。在嵌套证据中出现潜在冲突的很大原因是在前两条证据进行融合时丢失了目标  $A_2$ , 导致产生冲突。所以在有多条证据进行融合时, 应先检查融合结果有没有丢失目标, 若有, 要注意, 而且冲突度量值还比较大时更需谨慎, 先保留有丢失目标的那条证据, 继续进行融合。

定义  $P = \{C \subset A \cap B \neq \emptyset\}$  为潜在冲突子集,  $A, B$  分别是 2 条证据中的对应子集, 且  $A, B$  中必有 1 个是嵌套子集。随着证据的条数增加, 关于  $C$  的平均赋值从 0 逐渐增加的话, 两两证据推理很有可能会带来潜在冲突。换句话说,

如果原先两两组合规则得到的  $m(C)=0$ ，而其余单条证据提供的  $m(C) \neq 0$ ，那么在两两证据推理时很有可能会丢失了原有的目标  $C$  而导致潜在冲突的产生。

针对识别框架不完备情况下的融合处理，可以对组合规则进行改进，也可以从基本概率赋值的角度重新赋值。

### 3.2 传感器干扰

例 1 和例 2 中如果后续不断有证据增加进来，经过冲突度量判断，冲突产生的原因也有可能是传感器受到干扰，即信源提供的证据不够精确。

例 4 设从传感器获得 3 组证据  $E_1, E_2$  和  $E_3$ ，焦元分别为  $A_1, A_2, A_3$ ，基本概率赋值函数为： $m_1(A_1)=0.99, m_1(A_2)=0.01, m_1(A_3)=0$ ； $m_2(A_1)=0, m_2(A_2)=0.01, m_2(A_3)=0.99$ ； $m_3(A_1)=0.8, m_3(A_2)=0.01, m_3(A_3)=0.19$ 。

合成结果为  $m(A_1)=0, m(A_2)=1, m(A_3)=0$ 。

传感器提供的每组证据中  $A_2$  的基本概率赋值都很小，合成结果却认为  $A_2$  为真，而且，即使有更多支持  $A_1$  的证据加入，仍然有  $m(A_1)=0$  成立，这显然与实际不符。而这种情况则很可能是由于第 2 个传感器出错所致。在具体的融合过程中，可以对第 2 个传感器进行证据折扣计算，对其赋予较小的可信度，极端情况甚至可以不考虑第 2 个传感器的信息，即此时第 2 个传感器的折扣系数为 0，具体方法见文献[10-12]。

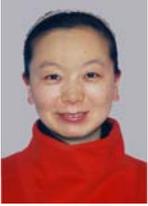
## 4 结论

在 Zadeh 悖论和 Haenni 反驳基础上，分析冲突产生的原因，认为与传感器受自身缺陷或传感器测量不准确、基本概率赋值函数模型的不精确定义，以及信息源的个数(实验表明，信息源越多，产生的冲突越大)等都有关。主要为：1) 传感器自身缺陷或传感器测量不准确，即传感器受干扰；2) 识别框架不完整，即基本概率赋值函数模型的不精确定义，包括识别框架的元素描述不够详尽，新目标出现和在证据推理过程中的目标丢失；3) 前两个原因的综合结果。针对传感器干扰的融合问题，目前的研究比较成熟，有邓勇的方法及其改进，但是对识别框架不完备的融合处理研究还存在一定难度，还需要进一步研究。

### 参考文献：

- [1] 何友,王国宏,关欣. 信息融合理论及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2010. (HE You,WANG Guohong,GUAN Xin. Information Fusion Theory with Applications[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2010.)
- [2] Zadeh A L. Review of Books:A Mathematical Theory of Evidence[J]. AI Magazine, 1984,(3):81-83.
- [3] Yager R R. Using Approximate reasoning to represent default knowledge[J]. Artificial Intelligence. 1987,31(1):99-112.
- [4] Smets P. The combination of evidence in the transferable belief model[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990,12(5):447-458.
- [5] Dubois D, Prade H. Consonant approximation of belief functions[J]. International Journal approximation reasoning, 1990, 4(5-6):419-449.
- [6] Smets P. Analyzing the combination of conflicting belief functions[R]. Bruxelles:Universite Libra de Bruxelles, 2005.
- [7] Yager R R. General approach to the fusion of imprecise information[J]. International Journal of Intelligent Systems, 1997, 12(1):1-29.
- [8] Murphy C. Combining belief functions when evidence conflicts[J]. Decision Support Systems, 2000,29(1):1-9.
- [9] Jousselme A,Grenier D,Bosse E. A new distance between two bodies of evidence[J]. Information Fusion, 2001,2(2): 91-101.
- [10] 邓勇,施文康,朱振福. 一种有效处理冲突证据的组合规则[J]. 红外与毫米波学报, 2004,23(1):27-32. (DENG Yong, SHI Wenkang,ZHU Zhenfu. Efficient combination approach of conflict evidence[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2004,23(1):27-32.)
- [11] 关欣,衣晓,孙晓明,等. 有效处理冲突证据的融合方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009,49(1):138-141. (GUAN Xin,YI Xiao,SUN Xiaoming,et al. Efficient fusion approach for conflicting evidence[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2009,49(1):138-141.)
- [12] Hu Lifang,Guan Xin,He You. Efficient combination rule of Dezert-Smarandache theory[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008,19(6):1149-1154.
- [13] Rolf Haenni. Shedding New Light on Zadeh's Criticism of Dempster's Rule of Combination[C]// Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion. Stockholm, Sweden:International Society of Information Fusion, 2005:25-28.

## 作者简介:



胡丽芳(1983-),女,江苏省丹阳市人,在读博士研究生,主要研究方向为智能计算、模式识别.email:hlf1983622@163.com.

关欣(1978-),女,辽宁省葫芦岛市人,博士,副教授,主要研究方向为多传感器信息融合、雷达数据处理、模式识别.

何友(1956-),男,吉林省磐石市人,博士,教授,主要研究领域为多传感器信息融合、多目标跟踪、模式识别、雷达自适应检测方法、分布检测理论及应用等.

邓勇(1975-),男,湖南省韶山市人,博士,教授,主要研究方向为信息融合、智能信息处理.

---

(上接第 218 页)

- [11] 卢建林,杨士元,王红,等. 基于 PSPICE 进行模拟电路故障建模的方法[J]. 微电子学与计算机, 2006,23(7):17-19. (LU Jianlin, YANG Shiyuan, WANG Hong, et al. A technology based on PSPICE for fault modeling of analog circuit[J]. Microelectronics & Computer, 2006,23(7):17-19.)

## 作者简介:



郭朝有(1976-),男,浙江永康人,博士,主要研究方向电路故障诊断等.email:gcy\_hg@21cn.com.

欧阳光耀(1964-),男,湖北仙桃人,博士,教授,主要研究方向为动力机械结构设计与优化.

李雁飞(1979-),男,山东淄博人,博士,主要研究方向为电路故障诊断等.