

基于重合度的证据冲突度量方法

毛艺帆[†], 张多林, 王 路

(空军工程大学 防空反导学院, 西安 710051)

摘要: 为更加准确、有效地描述证据间的冲突程度,提出一种新的证据冲突度量方法.该方法通过取小累加证据体之间两个相交为非空集的焦元BPA,得到证据重合度;然后基于其与证据冲突程度的关系,计算出证据冲突大小.实验结果表明,相比经典冲突系数与Jousselme证据距离,所提出的方法更加准确、有效.

关键词: Dempster-Shafer证据理论; 证据冲突; 冲突度量; 重合度; 冲突系数; 证据距离

中图分类号: TP391

文献标志码: A

Measurement of evidence conflict based on overlapping degree

MAO Yi-fan[†], ZHANG Duo-lin, WANG Lu

(School of Air and Missile Defense, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In order to measure the conflict degree of different evidences more accurately and credibly, a new measurement of conflict is proposed. In this approach, by accumulating all the smaller basic probability assignment (BPA) of each two focal elements which have common elements, the new defined overlapping degree is computed, and then the conflict degree can be known based on the relationship between them. The experimental results show that the proposed method is more accurate and credible compared with the classical conflict coefficient and the distance of evidence proposed by Jousselme.

Keywords: Dempster-Shafer evidence theory; evidence conflict; conflict measurement; overlapping degree; conflict coefficient; distance of evidence

0 引言

Dempster-Shafer(D-S)证据理论于1967年由哈佛大学数学家Dempster提出^[1],后经其学生Shafer进一步完善^[2],成为系统化的不确定推理理论. D-S理论可在没有先验信息的条件下合理地表示和处理不确定、非精确信息,在目标识别^[3]、决策分析^[4]和信息融合^[5]等领域已得到广泛应用.但在实际应用过程中,受外部自然环境、人为干扰或传感器探测精度的影响,传感器生成的证据有可能高度冲突, D-S理论的证据合成结果往往有悖常理.为此,大量学者对D-S理论的改进方法展开研究,在辨识框架封闭的情况下,改进方法主要分为两类^[6]: 1) 对证据合成规则的修改^[7-9],即将冲突证据进行重新分配; 2) 对冲突证据进行预处理^[10-11],然后采用基本D-S合成规则进行证据合成.无论是第1类对冲突证据进行重新分配,还是第2类对冲突证据进行预处理,首先都需要确定证据之间是否冲突以及证据冲突程度,因此证据冲突程度的度

量方式成为关键.

证据冲突度量方式有多种,传统D-S理论通过相乘累加两个相交为空集焦元的基本概率赋值(BPA)度量证据冲突^[12](冲突系数为 k),但即使完全相同的两个证据, k 的计算结果也非零,表明证据之间存在冲突,与事实不符. Jousselme定义的证据距离^[13] d_{BPA} 虽然已得到广泛应用,但其在度量完全不同的证据时,计算结果都不为1(期望值),并且数值大小与BPA的分散程度有关^[14].为克服 k 与 d_{BPA} 自身的缺陷,出现了基于 k 和 d_{BPA} 的改进证据冲突度量方法^[3,11,15-20],如文献[19]将Pignistic概率距离与 k 相结合来描述证据冲突程度,但其并没有提出明确的公式来确定两个因子之间的关系,只是单纯地根据设定的阈值进行判断,这也是这类改进方法普遍存在的问题,即所选用的冲突度量方法的组合方式物理意义不明确,并且主观性强,精度难以保证.此外,相关系数^[21]、基于偏熵和混合熵的度量方法^[22]也是近年来

收稿日期: 2015-11-12; 修回日期: 2016-02-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61272011).

作者简介: 毛艺帆(1988—),女,博士生,从事作战建模与仿真的研究; 张多林(1959—),男,教授,博士生导师,从事作战建模与仿真等研究.

[†]通讯作者. E-mail: myf1210@126.com

提出的新的度量方法,这类方法首先对证据体进行预处理(将证据向量与辅助矩阵结合),直接生成新的证据体,相对原始证据体,增加了多余的信息,导致最终结果不够准确.此外,这种证据处理方式计算量大,工程意义不强.

为克服传统证据冲突程度度量方式存在的问题,本文提出一种新的证据冲突度量方法,通过取小累加两个相交为非空集的焦元的BPA,得到证据的重合度,以此间接刻画证据之间的冲突程度.实验结果验证了所提出方法的有效性.

1 典型冲突度量方法分析

现有证据冲突度量方式有多种,最典型的方法(如冲突系数法),应用最为广泛的方法(如Jousselme证据距离法),以及近年来提出的新的度量方法(如相关系数法),本节分别对其有效性进行分析.

D-S基本理论的说明可查阅相关参考文献,本文不再赘述.这里主要对基本理论中BPA的基本性质进行说明.

定义1 一个完备辨识框架 $\Theta(\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_N\})$ 都对应一个与判决结果有关的命题, Θ 的幂集为 2^Θ ,命题的基本概率赋值BPA为一个函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$,满足 $\sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$ 且 $m(\emptyset) = 0$.

1.1 基于Dempster冲突系数的冲突度量方法

定义2(Dempster冲突系数) 假设 m_1 和 m_2 为辨识框架 Θ 下两个相互独立的BPA,其冲突系数为

$$k(m_1, m_2) = \sum_{A_i \cap A_j = \emptyset} m_1(A_i)m_2(A_j), \quad (1)$$

其中 $m_i(A_j)$ 为证据体 i 中命题 j 的BPA.

虽然经典证据理论广泛使用 k 来表征两证据间的冲突,但在使用过程中存在如下问题,如例1所示,即使两个完全相同的证据,证据间理应无任何冲突,但冲突系数计算结果为非零,与事实不符.

例1 设辨识框架为 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$,两个相互独立证据体的BPA为

$$m_1 : m_1(\theta_1) = m_1(\theta_2) = m_1(\theta_3) = \frac{1}{3},$$

$$m_2 : m_2(\theta_1) = m_2(\theta_2) = m_2(\theta_3) = \frac{1}{3},$$

计算得 $k = 2/3$,可见无法有效表征证据之间的冲突程度.

1.2 基于Jousselme证据距离的冲突度量方法

定义3(Jousselme证据距离) 假设 Θ 为包含 N 个两两互斥命题的完备辨识框架, A 为 Θ 的所有子集生成的子空间, A 中的集合为 $A_1, \dots, A_n, n = 2^N$, m_1 和 m_2 为两个相互独立的BPA矢量形式,其

Jousselme证据距离为

$$d_{BPA}(m_1, m_2) = \sqrt{\frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T D(m_1 - m_2)}. \quad (2)$$

其中: D 为 $n \times n$ 矩阵,矩阵中元素

$$d_{ij} = \frac{|A_i \cap A_j|}{|A_i \cup A_j|},$$

$d_{BPA} \in [0, 1]$, d_{BPA} 越大,证据冲突越大.

然而,通过分析,Jousselme证据距离在度量证据冲突的过程中依然存在如下问题.

例2 设辨识框架

$$\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_8\},$$

m_1 和 m_2 为两个相互独立证据体的BPA,考虑以下4种情形:

$$1) m_1(\theta_1) = 1, m_2(\theta_2) = 1;$$

$$2) m_1(\theta_1) = \frac{1}{2}, m_1(\theta_2) = \frac{1}{2},$$

$$m_2(\theta_3) = \frac{1}{2}, m_2(\theta_4) = \frac{1}{2};$$

$$3) m_1(\theta_1) = \frac{1}{3}, m_1(\theta_2) = \frac{1}{3},$$

$$m_1(\theta_3) = \frac{1}{3}, m_2(\theta_4) = \frac{1}{3},$$

$$m_2(\theta_5) = \frac{1}{3}, m_2(\theta_6) = \frac{1}{3};$$

$$4) m_1(\theta_1) = \frac{1}{4}, m_1(\theta_2) = \frac{1}{4},$$

$$m_1(\theta_3) = \frac{1}{4}, m_1(\theta_4) = \frac{1}{4},$$

$$m_2(\theta_5) = \frac{1}{4}, m_2(\theta_6) = \frac{1}{4},$$

$$m_2(\theta_7) = \frac{1}{4}, m_2(\theta_8) = \frac{1}{4}.$$

例2的4种情形中,两组证据均完全不相同,Jousselme证据距离理应取最大值1,计算结果如表1所示.

表1 例2中4种情形下证据体的Jousselme证据距离

| Jousselme 证据距离 | 例2不同情形 | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|
| | 1) | 2) | 3) | 4) |
| d_{BPA} | 1 | 0.707 | 0.577 | 0.500 |

由表1所示结果可以看出,虽然证据体 m_1 和 m_2 完全不同,但只有在情形1)时其Jousselme证据距离为1,其余情形下均小于1,并且随着各证据体BPA的分散程度增大,Jousselme证据距离呈逐渐变小的趋势.可见,Jousselme证据距离也不能有效衡量两组完全不同的证据的冲突程度.

例3 设辨识框架 $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_6\}$, m_1 和 m_2 为两个相互独立证据体的BPA,考虑以下2种情形:

$$\begin{aligned}
 &1) m_1(\theta_1) = \frac{1}{2}, m_1(\theta_2) = \frac{1}{2}, \\
 &\quad m_2(\theta_1 \cup \theta_3) = \frac{1}{2}, m_2(\theta_2 \cup \theta_4) = \frac{1}{2}; \\
 &2) m_1(\theta_1) = \frac{1}{3}, m_1(\theta_2) = \frac{1}{3}, \\
 &\quad m_1(\theta_3) = \frac{1}{3}, m_2(\theta_4) = \frac{1}{3}, \\
 &\quad m_2(\theta_2 \cup \theta_5) = \frac{1}{3}, m_2(\theta_3 \cup \theta_6) = \frac{1}{3}.
 \end{aligned}$$

例3的两种情形下, 两组证据Jousselme证据距离结果如表2所示.

表2 例3中2种情形下证据体的Jousselme证据距离

| Jousselme 证据距离 | 例3不同情形 | |
|----------------|--------|-------|
| | 1) | 2) |
| d_{BPA} | 0.5 | 0.471 |

例3所示两种情形中, 两组证据都有两对焦点是相容的, 并且情形1)中相容焦点对应BPA数值大于情形2)中相容焦点的BPA数值, 按照一般逻辑, 情形1)中证据体冲突程度应小于情形2), 但表2所示计算结果与此逻辑不符.

例2与例3所示结果表明, 无论是完全不同的两组证据, 还是部分相容的两组证据, Jousselme证据距离都不能有效衡量证据间的冲突程度, Jousselme证据距离与证据体BPA的分散程度有很大关系.

1.3 基于相关系数的冲突度量方法

相关系数由宋亚飞^[21]提出, 借鉴了向量夹角余弦的概念, 相似系数越小, 证据间冲突程度越大, 反之亦然, 其定义如下.

定义4(相似系数) 假设识别框架 $\Theta(\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_N\})$ 下两独立证据体的BPA为 $m_1(\cdot)$ 和 $m_2(\cdot)$, 其矢量形式为 m_1 和 m_2 , 则两证据体的相似系数为

$$\text{cor}(m_1, m_2) = \frac{m_1' \cdot m_2'^T}{\|m_1'\| \cdot \|m_2'\|}, \quad (3)$$

其中 $m_i' = m_i D, i = 1, 2$.

相似系数计算公式通过采用对证据进行预处理的方式, 使其能够处理证据中包含非单子集焦点的情况, 类似于参考文献[22], 这种证据预处理方式直接生成了新的证据体, 给原始证据增加了多余的信息, 导致最终结果不够准确, 如例4所示.

例4 假设识别框架 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2\}$ 下两独立证据体的BPA为:

- 1) $m_1 : m_1(\theta_1) = 1,$
- 2) $m_2 : m_2(\theta_2) = 1.$

由式(3)可得 $c(m_1, m_2) = 0.2$, 表明两证据不完全冲突, 与事实不符.

2 证据重合度

鉴于冲突系数及Jousselme证据距离在多种情况下无法有效表征证据之间的冲突程度, 本节提出一种新的证据冲突度量方法.

证据冲突在本质上可理解为两证据对各命题认识程度的一致性, 因此, 证据的冲突程度可以用证据对各命题认识的一致程度来度量, 如果两证据对各命题认识的一致程度较高, 则其冲突程度较小; 否则, 其冲突程度较大. 本文定义证据重合度来表征两证据对各命题认识的一致程度.

2.1 证据重合度的定义

定义5 在辨识框架 Θ 下, 两个相互独立的BPA为 m_1 和 m_2 , 其证据重合度 $c(m_1, m_2), c(m_1, m_2)$ 应满足如下5条性质:

- 1) $0 \leq c(m_1, m_2) \leq 1;$
- 2) $c(m_1, m_2) = c(m_2, m_1);$
- 3) $c(m_1, m_2) = 1 \Leftrightarrow m_1 = m_2;$
- 4) $c(m_1, m_2) = 0 \Leftrightarrow (\cup A_i) \cap (\cup B_j) = \emptyset, A_i$ 和 B_j 分别为 m_1 和 m_2 的焦点;
- 5) 证据产生变化时, $c(m_1, m_2)$ 的变化趋势与事实一致.

定义6(证据重合度) 假设 Θ 为包含 N 个两两互斥命题的完备辨识框架, A 为 Θ 的所有子集生成的子空间, A 中的集合为 $A_1, \dots, A_n, n = 2^N$, 两个相互独立的BPA为 m_1 和 m_2 , 其证据重合度为

$$c(m_1, m_2) = \sum_{i=1}^{2^N} \min(m_1(A_i), m_2(A_i)). \quad (4)$$

其中: $\min(m_1(A_i), m_2(A_i))$ 的物理意义为两证据对命题 i 共有的认可程度, $c(m_1, m_2)$ 为两证据对所有命题共有的认可程度.

下面来证明定义4中的证据重合度满足定义5中的5条性质.

证明 设 Θ 为包含 N 个两两互斥命题的完备辨识框架, A 为 Θ 的子集, m_1 和 m_2 为两个相互独立的BPA, 由定义1可知 $\sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$. 令

$$q_{12}(A_i) = \min(m_1(A_i), m_2(A_i)),$$

$$q_{21}(A_i) = \min(m_2(A_i), m_1(A_i)).$$

1) 由于

$$0 \leq q_{12}(A_i) + q_{21}(A_i) \leq m_1(A_i) + m_2(A_i),$$

有

$$0 \leq \sum_{i=1}^N q_{12}(A_i) + \sum_{i=1}^N q_{21}(A_i) \leq$$

$$\sum_{i=1}^N m_1(A_i) + \sum_{i=1}^N m_2(A_i) = 2,$$

即

$$0 \leq \sum_{i=1}^N q_{12}(A_i) \leq 1, 0 \leq c(m_1, m_2) \leq 1.$$

2) 由于 $q_{12}(A_i) = q_{21}(A_i)$, 易得

$$c(m_1, m_2) = c(m_2, m_1).$$

3) 必要性易证, 这里证明充分性, 即 $c(m_1, m_2) = 1 \Rightarrow m_1 = m_2$. 采用反证法, 假设 $m_1 \neq m_2$, 由性质1) 的证明过程可知 $c(m_1, m_2) < 1$, 这与条件 $c(m_1, m_2) = 1$ 矛盾, 假设不成立.

4) 充分性可用反证法证明, 这里证明必要性, $(\cup A_i) \cap (\cup B_j) = \emptyset$ 说明两证据没有共同的焦点, 则对于任意焦点 $A_i, i = 1, 2, \dots, N$, 有

$$\min(m_1(A_i), m_2(A_i)) = 0,$$

可得

$$\sum_{i=1}^N \min(m_1(A_i), m_2(A_i)) = 0,$$

即

$$c(m_1, m_2) = 0.$$

5) 需要进行实例论证, 后文将通过仿真对其进行验证. □

2.2 修正证据重合度

由证据重合度的公式可以看出, 当证据只包含单子集焦点时, 证据重合度的合理性得到了验证, 但是在证据中存在非单子集焦点的情况下 (如例3的两种情形下), 证据重合度的计算结果为: 情形1) 时, $c(m_1, m_2) = 0$; 情形2) 时 $c(m_1, m_2) = 0$. 显然与事实不符, 证据重合度无法有效使用. 为此, 需对证据重合度进行修正.

同样, 假设 Θ 为包含 N 个两两互斥命题的完备辨识框架, 两个相互独立的 BPA 为 m_1 和 m_2 , 为了处理包含非单子集焦点的证据, 对证据重合度公式修正如下:

$$c_1(m_1, m_2) = \sum_{i=1}^{2^N} \min(m_1(P_i), m_2(P_i)) \cdot d_{ii} = \sum_{i=1}^{2^N} \min(m_1(P_i), m_2(P_i)), \quad (5)$$

$$c_2(m_1, m_2) = \sum_{j=1}^{2^N} \sum_{i=1, i \neq j}^{2^N} \min(m_1(P_i), m_2(P_j)) \cdot d_{ij}, \quad (6)$$

$$c(m_1, m_2) = \frac{c_1(m_1, m_2) + c_2(m_1, m_2)}{1 + c_2(m_1, m_2)} = \frac{\sum_{j=1}^{2^N} \sum_{i=1}^{2^N} \min(m_1(A_i), m_2(A_j)) \cdot d_{ij}}{1 + \sum_{j=1}^{2^N} \sum_{i=1, i \neq j}^{2^N} \min(m_1(A_i), m_2(A_j)) \cdot d_{ij}}. \quad (7)$$

其中: $d_{ij} = \frac{|A_i \cap A_j|}{|A_i \cup A_j|}$, 分子中 $c_1(m_1, m_2)$ 的意义为相同焦点的 BPA 重合程度, $c_2(m_1, m_2)$ 表示相交不为空集的不同焦点的 BPA 重合程度. 由定义5中的性质1) 证明可知 $c_1(m_1, m_2) \leq 1$, 因此, 式(6)分母的作用主要用于归一化.

由于 $c_1(m_1, m_2) \leq 1$, 易证修正的证据重合度满足定义5中的性质1)、性质2) 和性质4) 与定义6的证明过程相同, 性质5) 则通过下节的算例分析进行证明.

3 算例分析

例5 该算例主要用于验证所提方法能否有效解决传统方法失效的问题.

1) 对于例1, 计算结果为 $c(m_1, m_2) = 1$, 两证据完全一致, 重合度为1, 不存在冲突, 与事实一致;

2) 对于例2的4种情形, 计算可得 $c(m_1, m_2)$ 全部为零, 即证据的重合度为零, 表明两证据完全不一致, 证据冲突程度达到最大, 与直观分析结果一致;

3) 对例3的两种情形进行计算, 可得情形1) 时 $c(m_1, m_2) = 0.33$, 情形2) 时 $c(m_1, m_2) = 0.25$. 即情形1) 的证据重合度高于情形2) 时的证据重合度, 换言之, 即情形1) 的证据冲突程度低于情形2) 的证据冲突程度, 与事实一致.

例6 该算例一方面用于验证所提出方法是否满足定义5中的性质5), 另一方面通过与其他方法进行对比, 验证所提出方法的有效性.

设辨识框架为 $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_{20}\}$, m_1 和 m_2 为两个相互独立证据体的 BPA, 有

$$\begin{aligned} m_1(\theta_2 \cup \theta_3 \cup \theta_4) &= 0.05, \\ m_1(\theta_7) &= 0.05, \\ m_1(\Theta) &= 0.1, \\ m_1(B) &= 0.8, \\ m_2(\theta_1 \cup \theta_2 \cup \theta_3 \cup \theta_4 \cup \theta_5) &= 1. \end{aligned}$$

其中焦点 B 的变化规律为 $\{\theta_1\}, \{\theta_1 \cup \theta_2\}, \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \theta_3\}, \dots, \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_{20}\}$.

图1给出了随着 B 的变化, 对应 $k, d_{BPA}, 1 - c,$

参考文献[19]及参考文献[21]所提出方法度量结果的变化情况。

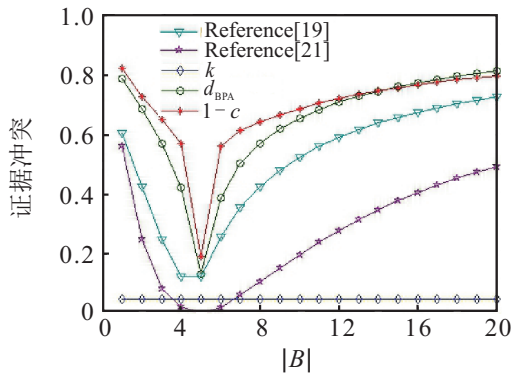


图1 不同类型证据冲突随 $|B|$ 变化示意图

如图1所示, Dempster冲突系数 k 不随 $|B|$ 的变化而变化,这是由于 k 反应的是非相互包含程度, m_1 中的焦元 A_7 始终与 m_2 的焦元无交集, m_1 中的其他焦元又始终与 m_2 的焦元有交集,所以计算得到的冲突系数 k 始终不变,这显然与事实相违背;文献[19]所提出方法对 $|B|=4$ 与 $|B|=5$ 的度量结果一致,即无法区分 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_4\}$ 与 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_5\}$ 的区别,不够准确;文献[21]所提出法计算结果的变化趋势与 d_{BPA} 相同,说明都能够处理证据中包含非单子集焦元的情况,但其对证据进行预处理的方式使得在证据冲突度量结果的准确度上不如 d_{BPA} ,并且其还存在例4所示的问题, d_{BPA} 与 $1-c$ 在 $|B|$ 的变化过程中先减小后增大,在 $|B|$ 由1增大到3的过程中,证据1)与证据2)的意见一致程度逐渐增大,在 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_5\}$ 时两证据重合程度达到最大,对应的证据冲突程度达到最小;在 $|B|$ 由5增大到20的过程中,证据1)对证据2)的支持程度逐渐减弱,证据的冲突程度逐渐增大,与逻辑相符。由图1还可看出, $1-c$ 的变化趋势整体上较 d_{BPA} 平滑,只有在 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_5\}$ 时出现了大幅度的变化,这也充分说明了当 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_5\}$ 时,两证据的一致程度才会出现质的提高,而其余情况,即使两证据较为相似,如 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_4\}$ 和 $B = \{\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_6\}$ 时,都不能认为两证据非常一致,因此 $1-c$ 的变化趋势与逻辑一致,并且很好地验证了其满足定义5中对性质5)的要求。

4 结 论

本文对两类传统的证据冲突度量方法进行了分析,发现经典冲突系数只能反映证据之间的非包容性,即使是两个完全相同的证据,证据冲突计算结果也有可能非零,而Jousselme证据距离与证据体BPA的分散程度有很大关系,即使是完全不同的两组证

据,在不同的BPA分布情况下,计算得到的证据距离大小也不同,与事实不符。本文针对传统方法存在的问题,提出了一种新的证据冲突度量方法,通过推导与实例计算,验证了所提出方法的有效性。

参考文献(References)

- [1] Dempster A P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping[J]. Annual Mathematics and Statistics, 1967, 38(2): 325-339.
- [2] Shafer G A. Mathematical theory of evidence[M]. Princeton: Princeton University Press, 1976.
- [3] 张燕君,龙呈. 基于证据理论的目标识别方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(12): 2467-2470. (Zhang Y J, Long C. Target recognition method based on evidence theory[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(12): 2467-2470.)
- [4] 陈圣群,王应明. 区间值信念结构下冲突证据组合[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(1): 256-261. (Chen S Q, Wang Y M. Conflicting evidence combination of interval-valued belief structures[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2014, 34(1): 256-261.)
- [5] 李程,王伟,施龙飞,等. 基于多源信息融合的有源雷达组网方式序贯识别方法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(10): 2456-2463. (Li C, Wang W, Shi L F, et al. Sequential method for netting type recognition of active radars based on multi-source information fusion[J]. J of Electronics & Information Technology, 2014, 36(10): 2456-2463.)
- [6] 郭华伟,施文康,邓勇,等. 证据冲突: 丢弃,发现或化解?[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(6): 890-898. (Guo H W, Shi W K, Deng Y, et al. Evidential conflict and its 3D strategy: Discard, discover and disassemble?[J]. Systems Engineering and Electronics, 2007, 29(6): 890-898.)
- [7] 潘光,吴琳丽. 一种改进的D-S证据合成方法及其应用[J]. 系统工程, 2014, 32(5): 150-153. (Pan G, Wu L L. An Improved D-S evidence combination rule and its application[J]. Systems Engineering, 2014, 32(5): 150-153.)
- [8] 孙全,叶秀清,顾伟康. 一种新的基于证据理论的合成公式[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 117-119. (Sun Q, Ye X Q, Gu W K. A new combination rules of evidence theory[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(8): 117-119.)
- [9] 权文,王晓丹,王坚,等. 一种基于局部冲突分配的DST组合规则[J]. 电子学报, 2012, 40(9): 1880-1884. (Quan W, Wang X D, Wang J, et al. New combination rule of DST based on local conflict distribution strategy[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(9):

- 1880-1884.)
- [10] 陈雁飞,夏学知,胡丹桂,等. 基于试探折扣修正的证据组合方法[J]. 电子学报, 2014, 42(4): 756-765.
(Chen Y F, Xia X Z, Hu D G, et al. Evidence combination based on tentative discount of evidences[J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(4): 756-765.)
- [11] 刘希亮,陈桂明. 一种自适应冲突证据检验与合成方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(5): 929-932.
(Liu X L, Chen G M. A self-adaptive conflicting evidence test and combination approach[J]. Control and Decision, 2014, 29(5): 929-932.)
- [12] 王万请,赵拥军,黄洁,等. 一种非对称的证据冲突度量方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(3): 533-536.
(Wang W Q, Zhao Y J, Huang J, et al. An asymmetrical measure for evidence conflict[J]. Control and Decision, 2014, 29(3): 533-536.)
- [13] Jousselme A L, Grenier D, Bosse E. A new distance between two bodies of evidence[J]. Information Fusion, 2001, 2(1): 90-101.
- [14] 彭颖,胡增辉,沈怀荣. 一种修正证据距离[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(7): 1624-1629.
(Peng Y, Hu Z H, Shen H R. A modified distance of evidence[J]. J of Electronics & Information Technology, 2013, 35(7): 1624-1629.)
- [15] 张燕君,龙呈. 一种改进的冲突表示方法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(6): 1716-1718.
(Zhang Y J, Long C. Improved conflict representation method[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(6): 1716-1718.)
- [16] 邓勇,施文康,朱振福. 一种有效处理冲突证据的组合方法[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 27-32.
(Deng Y, Shi W K, Zhu Z F. Efficient combination approach of conflict evidence[J]. J Infrared Millimeter and Waves, 2004, 23(1): 27-32.)
- [17] 刘兵,李辉,邢钢. 一种新的冲突表征下的异类源信息融合算法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(18): 123-126.
(Liu B, Li H, Xing G. Heterogeneous sources information fusion algorithm based on new characterization of conflict[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(18): 123-126.)
- [18] 蒋雯,彭进业,邓勇. 一种新的证据冲突表示方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(3): 562-564.
(Jiang W, Peng J Y, Deng Y. New representation method of evidential conflict[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(3): 562-564.)
- [19] Liu W R. Analyzing the degree of conflict among belief functions[J]. Artificial Intelligence, 2006, 170: 909-924.
- [20] Peng Y, Shen H R. Analyzing the degree of conflict among belief functions[C]. IEEE Int Conf on Information Theory and Information Security. Beijing: IEEE, 2010: 1134-1138.
- [21] 宋亚飞,王晓丹,雷蕾,等. 基于相关系数的证据冲突度量方法[J]. 通信学报, 2014, 35(5): 95-99.
(Song Y F, Wang X D, Lei L, et al. Measurement of evidence conflict based on correlation coefficient[J]. J of Communications, 2014, 35(5): 95-99.)
- [22] 邓勇,王栋,李齐,等. 一种新的证据冲突分析方法[J]. 控制理论与应用, 2011, 28(6): 839-844.
(Deng Y, Wang D, Li Q, et al. A new method to analyze evidence conflict[J]. Control Theory & Applications, 2011, 28(6): 839-844.)

(责任编辑: 孙艺红)