

基于冲突关系网络的证据合成方法研究

陈哲, 王加阳

(中南大学计算机学院, 湖南长沙 410083)

摘要: 针对经典证据理论处理高冲突情况时结果违反常理的问题, 在对其原因及各类改进方法进行研究分析的基础上, 提出基于冲突关系网络的证据合成方法. 该方法从整体着眼, 充分考虑直接与间接冲突关系, 通过构建网络, 利用 PageRank 算法的思想获取证据权值并进行加权修正, 最后利用 Dempster 组合规则进行融合, 既保留了经典理论优良的数学性质, 又较好解决了前述问题. 算例分析结果表明, 该方法能够客观反映冲突证据所携带的不确定信息, 具备一定的优越性.

关键词: 证据理论; 冲突关系网络; 权值

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2021)01-0125-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.12263/DZXB.20190086

The Research on Evidence Combination Method Based on Conflict Relation Network

CHEN Zhe, WANG Jia-yang

(School of Computer Science and Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: Since the result of classic evidence theory in dealing with high conflict situation is unreasonable, after analyzing the reasons and various improved methods, the evidence combination method based on conflict relation network is proposed. The method considers direct and indirect relations adequately, takes advantage of the idea of PageRank algorithm to obtain the weight of evidence by building network. Then the evidence is revised and weighted. Finally, the fusion is accomplished by adopting the combination rule of Dempster. It solves the problem above preferably while keeping the good mathematical properties of evidence theory. Analysis of examples indicates that, the proposed method can objectively reflect uncertain information with conflicting evidences well.

Key words: evidence theory; conflict relation network; weight

1 引言

证据理论是一种基于统计的数据融合分类算法, 在不确定性推理方面具备一定优势, 已被广泛应用于目标识别、信息融合、图像滤波、雷达状态预测^[1-4]等各领域. 但是, 当证据存在冲突时, 经典证据理论可能出现有悖常理的合成结果^[5]. 对此, 学者们立足不同角度, 提出了各类改进方法, 主要包括四种观点, 即: 修改组合规则、修正证据体、既修改规则且修正证据体、使用开放辨识框架的合成规则. 经过研究分析, 本文采用修正证据体的观点, 通过构建冲突关系网络获取证据权值, 使问题得以更好解决.

2 经典证据理论基本原理

2.1 基本概念

证据理论中的证据并非真实证据, 而是人类对所有目标决策所做观察和研究的结果^[6], 其本质是基于观测对不同假设赋予权值的一种方法, 主要概念如下:

定义 1 设表示 X 所有可能取值的论域集合为 Θ , Θ 内的所有元素间互不相容, 则称完备集合 Θ 为 X 的辨识框架. 由辨识框架 Θ 的所有子集组成的集合称为 Θ 的幂集, 记作 2^Θ .

定义 2 基本信任分配函数 m 是一个从集合 2^Θ 到 $[0, 1]$ 的映射, 对于集合 A , 如果满足

$$\begin{cases} m(\emptyset) = 0 \\ \sum_{A \in \Theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

则 $m(A)$ 称为事件 A 的基本可信数,若 $m(A) > 0$, 则 A 称为焦元(focal elements).

2.2 Dempster 组合规则

Dempster 组合规则是反映证据联合作用的法则,其实质就是对两个以上基本信任分配函数进行正交和运算,定义如下.

定义 3 设 m_1, m_2, \dots, m_n 是辨识框架 Θ 上的 n 个基本信任分配函数,焦元分别为 $A_i (i = 1, 2, \dots, N)$, 则 Dempster 组合规则为:

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{\cap A_i = A} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i)}{1 - K}, & A \neq \emptyset \\ 0, & A = \emptyset \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中

$$K = \sum_{\cap A_i = \emptyset} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_i) \quad (3)$$

其中 K 称为冲突系数, $1/(1 - K)$ 称为正则化因子. 正交运算满足交换律、结合律,其运算结果与基本信任分配函数的顺序无关.

3 证据理论的悖论及现有改进方法

经典证据理论在合成冲突证据时,可能产生不合理结果,包括全冲突悖论、0 信任悖论、1 信任悖论、证据失效悖论、信任偏移悖论等^[7]. 解决问题的思路如下:

思路 1 问题由 Dempster 组合规则造成. 高冲突时,其正则化过程完全舍弃冲突信息,要求分配在空集上的信度为零. 解决问题的关键是要改进和发展冲突管理,即修改组合规则,调整冲突处理方式,如吸收法^[8]、按比例分配冲突的证据推理合成规则^[9]等.

思路 2 问题来自于证据体. 在证据高度冲突时,应首先对冲突证据进行预处理,使其从物理、数学和逻辑上更加合理^[10-12],然后再使用 Dempster 组合规则进行合成,如加权平均法^[13]、基于证据间相似系数的冲突证据合成方法^[7]等.

思路 3 问题的产生与合成规则和证据源都有关,均需修正. 具体方式有:(1)对证据进行预处理后,再用新的组合规则进行合成;(2)根据冲突程度等因素,将多种方法组合使用,如加权分配冲突法^[14]等.

思路 4 问题来自于辨识框架不完整. 根据现有经验和知识预先定义的辨识框架,无法完全涵盖实时运行中所有可能发生的情况,故采用开放辨识框架的合成规则进行改进,如基于证据距离的开放识别框架合成规则^[7]、DSmT 合成规则^[15]等.

此外,还有一些其他思路,如证据去除法^[16]等.

4 基于冲突关系网络的证据合成方法

本文认同前述第二种思路,经典证据理论未区分证据的重要性与可靠性,这显然不符合客观实际^[17]. 一方面,如证据源存在故障或受到干扰,将其产生的证据与其他证据的重要性、可靠性等同,或将合成结果不合理归咎于组合规则或者辨识框架,显然不合理. 另一方面,在实际应用系统中,需要融合的证据量可能较大,但是修改 Dempster 组合规则可能破坏交换律、结合律等数学特性,限制大规模应用.

4.1 构建证据冲突关系网络

所谓证据冲突关系网络,是指能够反映证据之间冲突关系的网络. 合理判定证据之间冲突与否是构建该网络的基本前提. 目前度量冲突程度的方法包括证据一致量与证据冲突量、冲突强度、证据冲突/一致度、冲突系数、证据距离、信息熵、相似度以及虚假度、基于 pignistic 变换的方法等^[7,18,19]. 通过分析比较,冲突系数无法解释部分冲突情况处理结果不合理的问题,证据距离主要描述证据之间的差异程度,不等同于描述证据冲突程度^[20],在其他方法中,证据一致量与证据冲突量计算量相对较小,用以判定证据冲突与否更为合理,其具体定义见文献^[10],主要计算公式如下.

证据 E_1 和 E_2 的一致量为:

$$H(E_1, E_2) = \sum_{A_i = B_j} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad (4)$$

冲突量为:

$$C(E_1, E_2) = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad (5)$$

判定冲突与否的标准为:

$$C(E_1, E_2) > H(E_1, E_2) \quad \text{冲突} \quad (6)$$

$$C(E_1, E_2) \leq H(E_1, E_2) \quad \text{一致} \quad (7)$$

将参与合成的证据作为网络节点,按照上式的计算结果,将一致的证据用线连接,即形成证据冲突关系网络.

4.2 获取证据权值

PageRank 算法是数据挖掘的十大算法之一^[21],利用其思想,在冲突关系网络中,第 i 个证据 E_i 的权值可通过下式得到:

$$w_i = \frac{1-d}{N} + d \left(\sum_{j \in S(i)} \frac{w_j}{|S(j)|} \right) \quad (8)$$

其中 $i, j = 1, 2, \dots, N$, N 为证据个数, w_j 为第 j 个证据 E_j 的权值, d 为衰减因子,在 0 到 1 范围内设定,借鉴 PageRank 算法的使用规则,通常为 0.85; $S(i)$ 为与证据 E_i 一致的证据的集合,即冲突关系网络中与 E_i 有连线的证据集合; $|S(j)|$ 为与证据 E_j 一致的证据个数. 对于与所有证据均冲突的证据(以下简称孤立证据),即网络中的孤立节点,为将其纳入网络进行计算,并最大限度

降低其对其他证据权值的影响,借鉴 PageRank 算法的思想,将其看作一种特殊情形,即对于该孤立证据而言,其他所有证据均与其一致,但对其他证据而言,该孤立证据均与其冲突.为了尽可能精确地获取权值,需要对该式进行多次迭代计算,通过精确度 α_n 和预定迭代次数 n_p 对迭代次数 n 进行控制,当 $|w_{n+1} - w_n| \leq \alpha_n$ 或 $n = n_p$ 即停止迭代计算(w_n 为第 n 次迭代后,任一证据的权值).停止迭代计算后, w_n 即证据权值.对结果精确度要求越高,设定的 n_p 越大, α_n 越小,但计算量也越大.

由于证据数量可以直接获取,故将与某证据 E_i 存在冲突关系的证据数量与该证据权值 w_i 的关系称为直接冲突关系.证据的权值 w_{i+1} 需要通过计算间接获取,故将证据 E_i 的权值 w_i 和与其存在冲突关系的证据 E_{i+1} 的权值 w_{i+1} 之间的关系称为间接冲突关系.式(8)体现了这两方面:(1)与证据 E_i 一致的证据越多, E_i 重要性越高,其权值 w_i 越大;(2)互相一致的证据中,与重要证据一致的证据更为重要.这样获取的证据权值能够较为客观合理地反映证据的重要程度.

4.3 证据的修正及合成

不参与合成时,证据 E_i 中焦元的基本可信数 $m_i(A)$ 是由该证据的证据源自身决定,没有比较对象,不存在重要程度,无需修正.但是当 E_i 参与合成时,就要考虑其相对于其他参与合成的证据的重要程度,根据其重要程度进行修正,才能使合成结果更为合理.例如,一个存在故障的传感器发送的证据 E_i ,如果不参与合成,不存在重要性的高低,无需修正,但如果与其他完好的传感器发送的证据进行合成,就必须考虑其在所有证据中的重要程度.显然, E_i 的重要程度比其他证据明显偏低.前述获取的证据权值即反映了这种重要程度.因此,将证据进行加权修正后再进行合成,才能使合成结果更为合理,故证据 E_i 修正后焦元 A 的基本可信数为:

$$m_i^*(A) = w_i \times m_i(A) \quad (9)$$

但是修正之后,会导致同一个证据所有焦元基本可信数之和不为 1,这是因为权值反映证据重要程度的同时,也反映出其产生的不确定性,即证据权值越高,其重要程度越高,其产生的不确定度就越低,反之亦然,因此,应当将加权后剩余的基本可信数赋予辨识框架,以反映该证据带来的不确定性,即:

$$m_i^*(\Theta) = 1 - \sum_{j=1}^l m_i^*(A_j) \quad (10)$$

式(10)中 l 为焦元个数.最后利用 Dempster 组合规则即式(2)、式(3)对修正后的证据进行合成,即可得到合成结果.

5 算例分析

使用上文提及的 10 类方法对几类典型的冲突证据进行合成,对比分析其合理性.经过计算,设定预定迭代次数

$n_p = 100$,精确度 $\alpha_n = 0.00001$ 时,获取的权值不再随迭代次数的增加而变化,其精度能够满足各算例的计算需求.

5.1 多方法冲突证据合成结果对比分析

例 1 设辨识框架 $\Theta = \{A, B\}$, E_1, E_2 两个证据的基本信任分配函数分别为: $m_1(A) = 1, m_1(B) = 0; m_2(A) = 0, m_2(B) = 1$.

此例中,根据常识,其合成结果符合常理的标准为: $1 > m(A) = m(B) > 0$.但根据式(6), $K = 1$,两个证据完全冲突,使用经典证据理论无法合成,简称全冲突悖论.

例 2 设辨识框架 $\Theta = \{A, B, C\}$, 证据 E_1, E_2, E_3 和 E_4 的基本信任分配函数分别为: $m_1(A) = 0.9, m_1(B) = 0.1, m_1(C) = 0; m_2(A) = 0, m_2(B) = 0.1, m_2(C) = 0.9; m_3(A) = 0.7, m_3(B) = 0.1, m_3(C) = 0.2; m_4(A) = 0.8, m_4(B) = 0.1, m_4(C) = 0.1$.

此例中,焦元 A 和 C 的基本可信数为 0 的证据分别只占 1/4,且焦元 A 的基本可信数普遍较高,其次是焦元 C ,最后是焦元 B ,合成结果基本合理的标准为: $1 > m(A) > m(C) > m(B) > 0$.使用经典证据理论合成,则 $m(A) = m(C) = 0, m(B) = 1$,显然不合常理,简称 0 信任悖论.

例 3 设辨识框架 $\Theta = \{A, B, C, D\}$, 证据 E_1, E_2 和 E_3 的基本信任分配函数分别为: $m_1(A) = 0.99, m_1(B) = 0.01; m_2(B) = 0.01, m_2(C) = 0.99; m_3(B) = 0.01, m_3(D) = 0.99$.

此例中,3 个证据对焦元 B 的信任程度均很低, A, B, D 三个焦元分别有一个证据对其信任程度较高,且基本可信数相等,因此,其合成结果基本合理的标准为: $1 > m(A) = m(C) = m(D) > m(B) > 0$.使用经典证据理论合成, $m(A) = m(C) = m(D) = 0, m(B) = 1$,显然不合理,简称为 1 信任悖论.

例 4 设辨识框架 $\Theta = \{A, B, C, D\}$, 证据 E_1, E_2 和 E_3 的基本信任分配函数分别为: $m_1(C) = 0.35, m_1(C \cup D) = 0.65; m_2(B) = 0.8, m_2(\Theta) = 0.2; m_3(B) = 0.8, m_3(\Theta) = 0.2$.

此例中, E_2, E_3 基本信任分配函数相同, E_1 与 $E_2 (E_3)$ 的焦元均不相同,且 $m_2(B) = m_3(B) > m_1(C \cup D) > m_1(C)$,因此,证据合成结果的基本合理标准为: $1 > m(B) > m(C \cup D) > m(C) > 0$,且 $m(B) < m_2(B), m(C \cup D) < m_1(C \cup D), m(C) < m_1(C)$. E_1 与 E_2 合成后, $m(B)$ 的值应当比 E_1, E_2 和 E_3 三个证据合成后的小.使用经典证据理论对 E_1 和 E_2 进行合成,结果为: $m(C) = 0.35, m(C \cup D) = 0.65$,与 E_1 相同,对 E_1, E_2 和 E_3 进行合成,结果仍为: $m(C) = 0.35, m(C \cup D) = 0.65$,与 E_1 相同,证据 E_3 失效,显然不合常理,这种情况简称为证据失效悖论.

例 5 设有 $i (i = 1, 2, 3, \dots, l)$ 组相同的证据,焦元分别为 A, B, C ,基本信任分配函数为: $m_i(A) = 0.06,$

$m_i(\Theta) = 0.94$.

此例中,每个证据对 A 的信任程度相同且较小,故其合成结果基本合理标准是: l 值越大,合成后的 $m(A)$ 值越小.使用经典证据理论进行合成,则合成结果为: $m(A) = 1 - 0.94^l, m_i(\Theta) = 0.94^l$.随着 l 的增大, $m(A)$

的值逐渐增大,当 $l = 50$ 时, $m(A) = 0.955$,显然不合常理,这种情况简称为信任偏移悖论.

下面使用各种合成方法对这几类冲突证据进行合成,具体合成结果如表 1 所示.

表 1 各证据合成方法冲突证据合成

合成方法		悖论	全冲突悖论 (例 1)	0 信任悖论 (例 2)	1 信任悖论 (例 3)	证据失效悖论 (例 4)	信任偏移悖论 (例 5)
1	经典方法	Dempster 合成规则	无法合成	$m(B) = 1$	$m(B) = 1$	$m(C) = 0.35$ $m(C \cup D) = 0.65$	$m(A) = 1 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l$
2	修正合成规则	吸收法	$L = 0.5$ $m(A) = 0.5$ $m(B) = 0.5$	无法合成	无法合成	无法合成	$m(A) = 1 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l$
3		按比例分配冲突的证据推理合成规则	$m(A) = 0.5$ $m(B) = 0.5$	$m(A) = 0.68$ $m(B) = 0.02$ $m(C) = 0.3$	$m(A) = 0.3333$ $m(B) = 0.0001$ $m(C) = 0.6666$	$m(B) = 0.65$ $m(C) = 0.12$ $m(C \cup D) = 0.23$	$m(A) = 1 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l$
4	修正证据体	加权平均法	$m(A) = 0.5$ $m(B) = 0.5$	$m(A) = 0.9957$ $m(C) = 0.0043$	$m(A) = 0.33$ $m(C) = 0.33$ $m(D) = 0.33$ $m(B) = 0.01$	$m(B) = 0.79$ $m(C) = 0.141$ $m(C \cup D) = 0.067$ $m(\Theta) = 0.002$	$m(A) = 1 - 0.94^{l-2}$ $m(\Theta) = 0.94^{l-2}$
5		基于证据间相似系数的冲突证据合成方法	$m(A) = 0.5$ $m(B) = 0.5$	$m(A) = 0.99$ $m(B) = 0.002$ $m(C) = 0.008$	$m(A) = 0.33$ $m(C) = 0.33$ $m(D) = 0.33$ $m(B) = 0.01$	$m(B) = 0.86$ $m(C) = 0.08$ $m(C \cup D) = 0.04$ $m(\Theta) = 0.02$	$m(A) = 1 - (0.495 \times l)^{l-1}$ $m(\Theta) = (0.495 \times l)^{l-1}$
6	证据体和合成规则均修正	加权分配冲突法	$w = 0.5$ $m(A) = 0.5$ $m(B) = 0.5$	无法合成	无法合成	无法合成	$m(A) = 1 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l$
7	基于开放框架改进方法	基于证据距离的开放识别框架合成规则	$m(\bar{\varphi}) = 1$	$m(A) = 0.744$ $m(B) = 0.101$ $m(C) = 0.155$	$m(\bar{\varphi}) = 1$	$m(B) = 0.8$ $m(C \cup D) = 0.2$	$m(A) = 0.06 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l + 0.94$
8		DSmT 合成规则	$m(\Theta) = 1$	$m(A) = 0.504$ $m(B) = 0.001$ $m(C) = 0.018$ $m(A \cup B) = 0.0191$ $m(B \cup C) = 0.0029$ $m(A \cup C) = 0.1863$ $m(\Theta) = 0.266$	$m(B) = 0.000001$ $m(A \cup B) = 0.000099$ $m(B \cup C) = 0.000099$ $m(A \cup B \cup C) = 0.009801$ $m(B \cup D) = 0.000099$ $m(A \cup B \cup D) = 0.009801$ $m(A \cup C \cup D) = 0.970299$ $m(B \cup C \cup D) = 0.009801$	$m(C) = 0.014$ $m(B \cup C) = 0.336$ $m(C \cup D) = 0.026$ $m(B \cup C \cup D) = 0.624$	无法合成
9	其他方法	证据去除法	无法合成	$m(A) = 0.998$ $m(B) = 0.002$	$m(B) = 0.0001$ $m(C) = 0.9999$	$m(B) = 0.96$ $m(\Theta) = 0.04$	$m(A) = 1 - 0.94^l$ $m(\Theta) = 0.94^l$
10	修正证据体	本文合成方法	$m(A) = 1/3$ $m(B) = 1/3$ $m(\Theta) = 1/3$	$m(A) = 0.547$ $m(B) = 0.051$ $m(C) = 0.067$ $m(\Theta) = 0.336$	$m(A) = 0.1913$ $m(C) = 0.1913$ $m(D) = 0.1913$ $m(B) = 0.0548$ $m(\Theta) = 0.3713$	$m(B) = 0.588$ $m(C) = 0.01$ $m(C \cup D) = 0.019$ $m(\Theta) = 0.383$	$m(A) = 1 - \left(1 - \frac{0.06}{l}\right)^l$ $m(\Theta) = \left(1 - \frac{0.06}{l}\right)^l$

根据表 1 合成结果,对比前述介绍各例时阐述的相关基本合理评定标准(具体参见文献[10]),即可判定各方法的合理性情况(表 2). 依据表 2 的结果,只有基于证

据间相似系数的冲突证据合成方法和本文方法对各类冲突证据的合成结果均较为合理. 下面通过多冲突证据合成对比分析,进一步研究这两种方法的优劣.

表 2 各类方法冲突证据合成结果合理情况

序号	类别	合成方法	全冲突悖论	0 信任悖论	1 信任悖论	证据失效悖论	信任偏移悖论
1	经典方法	Dempster 合成规则	×	×	×	×	×
2	修正合成规则	吸收法	√	×	×	×	×
3		按比例分配冲突的证据推理合成规则	√	√	×	√	×
4	修正证据体	加权平均法	√	×	√	√	×
5		基于证据间相似系数的冲突证据合成方法	√	√	√	√	√
6	证据体和合成规则均修正	加权分配冲突法	√	×	×	×	×
7	基于开放框架	基于证据距离的开放识别框架合成规则	×	√	×	×	×
8	改进方法	DSmT 合成规则	×	√	√	√	×
9	其他方法	证据去除法	×	×	×	×	×
10	修正证据体	本文合成方法	√	√	√	√	√
备注	合成结果基本符合常理:√合成结果明显不合常理:×						

5.2 多冲突证据合成结果对比分析

例 6 设辨识框架 $\Theta = \{A, B, C, D\}$, 有证据 $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6$ 和 E_7 , 其基本信任分配函数见表 3.

表 3 各证据基本信任分配函数

m	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7
$m_i(A)$	0.9	0.5	0.1	0	0	0	0
$m_i(B)$	0.1	0.5	0.9	0.6	0.9	0.5	0
$m_i(C)$	0	0	0	0.4	0	0.5	0.1
$m_i(D)$	0	0	0	0	0.1	0	0.9

据 4.1 节所述,构建证据冲突关系网络图如图 1.

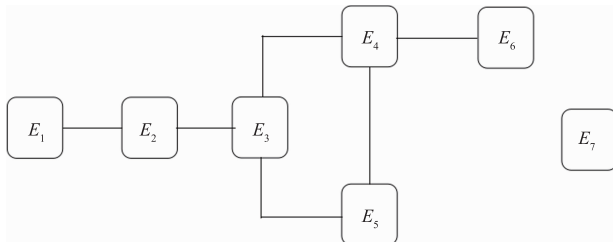


图 1 证据冲突关系网络图

使用基于证据间相似系数的冲突证据合成方法和本文方法分别进行合成,得到合成结果如表 4.

根据证据理论基本原理和直观常理可推断,对于特定焦点 X ,合成后 $m(X)$ 的值主要受两方面因素的影响,一是合成前各证据对焦点 X 的总体信任程度,可使用平均基本可信数对这一因素进行量化,即:

表 4 证据合成结果

合成方法	$m(A)$	$m(B)$	$m(C)$	$m(D)$	$m(\Theta)$
基于证据间相似系数的冲突证据合成方法	0.0003	0.9996	0.00005	0.00005	0
本文方法	0.0987	0.4152	0.0713	0.0164	0.3984

$$\overline{m_i(X)} = \frac{\sum m_i(X)}{N} \quad (11)$$

其中 N 为证据个数. 二是合成前信任焦点 X 的证据个数,即 $m_i(X) > 0$ 的证据个数 n . $\overline{m_i(X)}$ 、 n 越大, $m(X)$ 理应越大. 因此,根据不同焦点以上两个因素的取值情况,推断基本合理的合成结果中各焦点基本可信数的大小关系,即确定合成结果的合理标准. 本例中,各焦点 $\overline{m_i(X)}$ 、 n 的取值情况如表 5.

表 5 各焦点合成结果影响因素取值情况

焦点	取值	$\overline{m_i(X)}$	n
A		0.214	3
B		0.5	6
C		0.143	3
D		0.143	2

依前所述,其合成结果合理的标准可确定为: $m(B) > m(A) > m(C) > m(D)$. 基于证据间相似系数的冲突证据合成方法合成结果与这一标准明显不符,

其基本可信数过于集中于焦元 B 上,未反映被合成证据中关于焦元 A, C, D 的大部分信息,不够合理. 本文方法合成结果符合上述合理标准,更为清晰客观地反映了所有证据对各焦元的综合信任程度,且辨识框架的基本可信数,也反映了证据之间的冲突程度和合成结果的不确定性,因此,本文方法更为合理.

6 结论

经典证据理论在处理冲突证据时之所以出现不合理现象,主要原因在于未考虑证据之间的影响和重要程度的差异. 在现有改进方法中,修正合成规则易破坏规则本身的数学特性,不利于大规模应用,且与实际情况不符;修正证据体,如涉及冲突系数 K 和证据间的距离等,也存在不够合理之处. 大部分改进方法重点考虑了证据之间的直接冲突关系,对间接冲突关系考虑不足,合成结果不能全面反映原证据的携带信息. 构建证据冲突关系网络,利用 PageRank 算法的思想,进行加权修正后再进行合成,能够得到更为合理的结果. 算例分析表明,本文方法能够较好处理几类典型的冲突证据合成问题,特别是在证据数量较多、冲突关系较为复杂的情况下,本文方法合成结果较同类方法更为合理.

参考文献

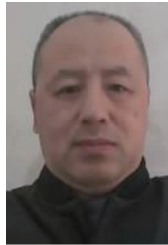
- [1] 周莉,唐文静,郭伟震. 基于改进 D-S 证据组合规则的目标识别算法[J]. 北京邮电大学学报,2016,39(5):47-50.
ZHOU Li, TANG Wen-jing, GUO Wei-zhen. Target-recognition algorithm based on improved D-S evidence combination rule[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2016, 39(5):47-50. (in Chinese)
- [2] 罗志增,蒋静坪. 基于 D-S 理论的多信息融合方法及应用[J]. 电子学报,1999,27(9):100-102.
LUO Zhi-zeng, JIANG Jing-ping. Multi sensor data fusion based on Dempster Shafer evidential reasoning and its application[J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(9):100-102. (in Chinese)
- [3] 李剑峰,乐光新,尚勇. 基于改进型 D-S 证据理论的决策层融合滤波算法[J]. 电子学报,2004,32(7):1160-1164.
LI Jian-feng, YUE Guang-xin, SHANG Yong. Decision-level fusion filtering algorithm based on advanced D-S theory of evidence[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7):1160-1164. (in Chinese)
- [4] 陈维高,贾鑫,朱卫纲,唐晓婧. 基于机动特征辅助的 MFR 状态预测方法[J]. 电子学报,2018,46(6):1404-1409.
CHEN Wei-gao, JIA Xin, ZHU Wei-gang, TANG Xiao-jing. MFR state prediction method based on aircraft maneuvering features assistance[J]. Acta Electronica Sinica, 2018, 46(6):1404-1409. (in Chinese)
- [5] 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 Quan, YE Xiu-qing, GU Wei-kang. A new combination rules of evidence theory[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(8):117-119. (in Chinese)
- [6] 杨善林,李永森,马溪骏,陈增明. 基于技术进步和信息不对称的证据合成研究[J]. 系统工程学报,2007,22(3):268-292.
YANG Shan-lin, LI Yong-sen, MA Xi-jun, CHEN Zeng-ming. Study of evidence combination based on technology progress and information asymmetry[J]. Journal of Systems Engineering, 2007, 22(3):268-292. (in Chinese)
- [7] 杨风暴,王肖霞. D-S 证据理论的冲突证据合成方法[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [8] 张山鹰,潘泉,张洪才. 一种新的证据推理组合规则[J]. 控制与决策,2000,15(5):540-545.
Zhang Shan-ying, Pan Quan, Zhang Hong-cai. A new kind of combination rule of evidence theory [J]. Control and Decision, 2000, 15(5):540-545. (in Chinese)
- [9] 刑清华,雷英杰,刘付显. 一种按比例分配冲突度的证据推理组合规则[J]. 控制与决策,2004,19(12):1387-1390.
XING Qing-hua, LEI Ying-jie, LIU Fu-xian. One combination rule of evidence theory based on distributing conflict in proportion[J]. Control and Decision, 2004, 19(12):1387-1390. (in Chinese)
- [10] Haenni R. Are alternatives to Dempster's rule of combination real alternative? — Comments on "About the belief function combination and the conflict management problem"[J]. Information Fusion, 2002, 3(4):237-239.
- [11] Deng Y, Shi W K, Zhu Z F, et al. Combining belief functions based on distance of evidence[J]. Decision Support Systems, 2004, 38(3):489-493.
- [12] Han De-qiang, Deng Yong, Han Chong-zhao, et al. Weighted evidence combination based on distance of evidence and uncertainty measure[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2011, 30(5):396-400.
- [13] Murphy C K. Combining belief functions when evidence conflicts[J]. Decision Support System, 2000, 29(1):1-9.
- [14] 张山鹰,潘泉,张洪才. 证据推理冲突问题研究[J]. 航空学报,2001,22(4):369-372.
ZHANG Shan-ying, PAN Quan, ZHANG Hong-cai. Conflict problem of Dempster-Shafer evidence theory[J]. Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica, 2001, 22(4):369-372. (in Chinese)
- [15] Smarandache F, Dezert J. Advances and Applications of

- DSmT for Information Fusion[M]. Re-hoboth: American Research Press, 2004.
- [16] Marcos N, Azcarraga A. Belief-evidence fusion in a hybrid intelligent system[A]. Proceeding of the Seventh International Conference on Information Fusion[C]. Stockholm, 2004. 322 – 329.
- [17] 王加阳, 周勇. 冲突证据的融合方法研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 2046 – 2049.
WANG Jia-yang, ZHOU Yong. Research on fusion of conflict evidence[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(7): 2046 – 2049. (in Chinese)
- [18] 周莉, 郭伟震, 张维华. 基于证据排序融合的局部冲突信息再分配算法[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 41(2): 109 – 113.
ZHOU Li, GUO Wei-zhen, ZHANG Wei-hua. Local conflict information redistribution algorithm based on evidence ranking fusion[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018, 41(2): 109 – 113. (in Chinese)
- [19] 胡昌华, 司小胜, 周志杰, 王鹏. 新的证据冲突衡量标准下的 D-S 改进算法[J]. 电子学报, 2009, 37(7): 1578 – 1583.
HU Chang-hua, SI Xiao-sheng, ZHOU Zhi-jie, WANG Peng. An improved D-S algorithm under the new measure criteria of evidence conflict[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(7): 1578 – 1583. (in Chinese)
- [20] 韩德强, 杨艺, 韩崇昭. DS 证据理论研究进展及相关问题探讨[J]. 控制与决策, 2014, 29(1): 1 – 11.
HAN De-qiang, YANG Yi, HAN Chong-zhao. Advances in DS evidence theory and related discussions[J]. Control and Decision, 2014, 29(1): 1 – 11. (in Chinese)
- [21] Xindong Wu, Vipin Kumar. 数据挖掘十大算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

作者简介



陈 哲 (通信作者) 男, 1986 年 10 月出生于湖北应城. 2017 年进入中南大学计算机学院, 现为信息与通信工程专业硕士生, 从事智能信息融合方面的研究.
E-mail: 174611020@csu.edu.cn



王加阳 男, 1963 年生于湖南长沙. 工学博士, 中南大学计算机学院教授, 博士生导师, 主要研究方向智能计算与信息融合.
E-mail: csuwjy@mail.csu.edu.cn