

一种改进的冲突表示方法*

张燕君^{1,2}, 龙呈¹

(1. 燕山大学信息科学与工程学院 河北省特种光纤与光纤传感重点实验室, 河北秦皇岛 066004; 2. 江苏天明机械集团有限公司, 江苏连云港 222062)

摘要: 当证据高度冲突时,使用经典 D-S 组合规则往往不能得出正确的结果。为此研究人员对证据理论的改进进行了大量的研究,但如何度量证据之间的冲突程度却常常被忽视。针对这一问题,分析了经典冲突系数的不足,结合证据距离和经典冲突系数,提出一种改进的证据冲突表示方法,可更好地度量证据之间的冲突程度。通过算例验证了新方法的有效性。

关键词: 信息融合; 证据理论; 证据冲突; 冲突表示

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)06-1716-02

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.06.029

Improved conflict representation method

ZHANG Yan-jun^{1,2}, LONG Cheng¹

(1. Key Laboratory for Special Fiber & Fiber Sensor of Hebei Province, College of Information Science & Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China; 2. Jiangsu Tianming Machinery Group, Lianyungang Jiangsu 222062, China)

Abstract: The classical D-S combination rule was not efficient to deal with highly conflicting evidences. To solve this problem, this paper proposed many modified combinative methods, but how to measure the conflict among evidences was an issue which was not well considered. Firstly, it analyzed the deficiency of the classical conflict coefficient. Then, it introduced a distance function of evidence to measure conflict degree together with classical conflict coefficient. And it presented an improved conflict representation method. It can better measure the conflict degree between evidences. The numerical example shows the efficiency of the proposed method.

Key words: information fusion; evidence theory; evidence conflict; conflict representation

作为一种不确定推理方法,D-S 证据理论在多传感器信息融合等相关方面有着广泛的应用,为不确定信息的表达和合成提供了强有力的方法。但是在证据高度冲突时,直接使用 DS 组合规则则会得出有悖常理的结果^[1]。为解决这一问题,众多学者作了相关研究^[2-9]。文献[3]对 DS 组合规则进行了修改,采用了对全局冲突进行重新分配的方法;文献[4]考虑了证据之间的相关性,依据证据距离对证据体进行加权平均再融合,取得了较好的效果;文献[5]定义了一种新的冲突衡量标准,引入信息论中熵的概念来确定权重,再使用折扣系数法进行证据组合;文献[7]把不确定度引入冲突证据的融合,依据证据体不确定度生成权重,再进行证据组合,也取得了较好的效果。

大体上说,对冲突证据融合的处理方法主要有两大类:a)对 DS 组合规则进行修改,实现对冲突信息的重新分配;b)保持 DS 组合规则不变,对证据源信息进行预处理再进行组合。然而,在选择合适的组合方法时,确定证据之间是否冲突及冲突的大小是个至关重要的问题。

目前还没有统一的标准来度量证据之间的冲突大小,一般把分配给空集的合成概率指派(即经典冲突系数 k)用于度量证据之间的冲突程度。但研究表明,经典冲突系数 k 不能很好地表征证据之间的冲突程度,具有很大的局限性,后文也将对这一问题进行分析。为了更好地度量证据之间的冲突程度,本文提出一种改进的冲突表示方法,并验证了该方法的有效性。

1 D-S 证据理论及其存在的问题

1.1 D-S 证据理论

证据理论是建立在辨识框架上的理论,设 Θ 表示 X 所有可能取值的一个论域集合,且 Θ 内的所有元素都是互不相容的,则称 Θ 为 X 的辨识框架。

定义 1 设 Θ 为一辨识框架,则函数 $m:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 满足

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

时,称 $m(A)$ 为 Θ 上的一个基本置信指派(BPA)函数。若 $\forall A \in \Theta$,且 $m(A) > 0$,则称 A 为焦元, $m(A)$ 表示了对 A 的直接支持。所有焦元的集合称为核。

D-S 证据理论的组合规则如下:

$$\begin{cases} m(A) = \frac{1}{1 - k_{A_1 \cap B_j \cap C_l \cap \dots = A}} m_1(A_i) m_2(B_j) m_3(C_l) \dots \\ m(\emptyset) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$k = \sum_{A_i \cap B_j \cap C_l \cap \dots = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) m_3(C_l) \dots \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3)$$

其中: k 为经典冲突系数,在传统证据理论中表示证据之间的冲突程度, k 越大表明证据间的冲突越大。

1.2 D-S 证据理论存在的问题

例 1 假定识别框架 $\Theta = \{A, B, C\}$,有两条证据如下:

收稿日期: 2012-10-03; 修回日期: 2012-11-25 基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2010001268)

作者简介: 张燕君(1973-),女,河北秦皇岛人,副教授,博士(后),主要研究方向为光纤传感、信息融合和信号处理(ysuyjzhang@yahoo.com.cn);龙呈(1986-),男,江西宜春人,硕士研究生,主要研究方向为信息融合、信号处理。

$m_1(A) = 0.99, m_2(B) = 0.01; m_2(B) = 0.01, m_2(C) = 0.99$ 。

计算得 $k = 0.9999$, 利用 D-S 合成规则进行组合的结果为 $m(A) = 0, m(B) = 1, m(C) = 0$, 这显然违背常理, 两条证据对焦点 B 的基本置信指派都很小, 组合后 B 的基本置信指派却为 1。例 1 很好地体现了 D-S 证据理论存在的问题, k 趋于 1 时, 容易导致融合结果违背常理; k 为 1 时, 不能使用 D-S 组合规则进行融合。众多学者针对这一问题做了大量的分析和研究工作, 提出了众多的改进方法和模型, 但对于什么是证据冲突, 怎样有效地度量冲突, 并没有给出很好的解释。然而判断证据间是否存在冲突, 冲突程度有多大, 是有效进行冲突证据融合的基础。确定了证据间冲突程度, 才可以更好地确定是否可以采用 D-S 组合方法或其他证据合成方法。

1.3 经典冲突系数的局限性

在传统证据理论中, 普遍采用经典冲突系数 k 来表征证据之间的冲突程度, 但经典冲突系数 k 无法有效地度量证据之间的冲突程度, 具有很大的局限性。

例 2 假定识别框架 $\Theta = \{A, B, C\}$, 有两条证据的基本置信指派如下: $m_1(A) = 0.4, m_1(B) = 0.3, m_1(C) = 0.3; m_2(A) = 0.4, m_2(B) = 0.3, m_2(C) = 0.3$ 。

如果用 k 来度量两个证据之间的冲突程度, 计算得 $k = 0.66$, 具有较大的冲突, 然而实际上这是两个相同的证据, 它们之间不存在冲突。所以用 k 来度量两个证据之间的冲突程度是不可取的。分析式(3)经典冲突系数 k 的计算方式可以看出, k 反映的是识别框架焦点之间的一种非相互包含程度, 只是表征了证据组合中指派对空集的信度值。

2 新的证据冲突表示方法

在证据理论的识别框架下, 证据间产生冲突的主要原因有: a) 辨识框架不完整, 特别是在相关军事领域中, 敌方目标不能完全为我方所知, 各传感器信息不可避免地常由此发生高度冲突; b) 由于恶劣的自然因素或人为干扰而导致的传感器信息本身的可信度问题。

证据之间的冲突是多种原因共同作用的结果, 要较好地度量证据之间的冲突, 仅仅考虑证据之间的非相互包含程度是不可取的, 有必要引入其他参数^[10,11]。以下引入证据距离的概念。

定义 2 设 Θ 为一完备的辨识框架, m_1 和 m_2 为 Θ 上的两个 BPA, 则 m_1 和 m_2 的距离^[12]可以表示为

$$d_{\text{BPA}}(m_1, m_2) = \sqrt{\frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T \underline{D}(m_1 - m_2)} \quad (4)$$

其中: $\underline{D}$ 为一个 $2^N \times 2^N$ 的矩阵, 矩阵中的元素为 $D(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$; d_{BPA} 距离函数可以有效地表征证据之间焦点及基本置信指派的综合影响, 很好地表征证据之间的差异性。文献[13]把经典冲突系数 k 和证据距离 d_{BPA} 结合起来, 定义证据 i 和 j 之间的冲突系数为

$$k_{i,j}^d = \frac{1}{2} [k_{i,j} + d_{\text{BPA}}(m_i, m_j)] \quad (5)$$

用式(5)来度量证据间的冲突程度效果不错, 但仍有一定的不足和局限性。对于例 2, 计算得 $k_{1,2}^d = 0.33$, 与实际情况不符。本文为更加全面地反映证据间的冲突程度, 提出一种新的冲突表示方法。定义冲突系数如下:

$$cf_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{\frac{k + d_{\text{BPA}}}{\sqrt{k} \times d_{\text{BPA}}}} \times \frac{k + d_{\text{BPA}}}{2} & k \neq 0 \\ \frac{k + d_{\text{BPA}}}{2} = \frac{d_{\text{BPA}}}{2} & k = 0 \end{cases} \quad (6)$$

对于例 2 用式(6)计算得 $cf_{1,2} = 0$, 两证据间不存在冲突, 与实际情况一致。由式(6)可知 $cf_{i,j}$ 的取值范围为 $0 \leq cf_{i,j} \leq 1$, 符合冲突系数的定义。

3 算例分析

例 3 假定识别框架 $\Theta = \{A, B\}$, 有两个证据的基本置信指派如下: $m_1(A) = 1, m_2(B) = 0; m_2(A) = 0, m_2(B) = 1$ 。

计算可得新冲突系数 $cf_{1,2} = 1$, 表明两个证据之间完全冲突, 符合实际情况。

例 4 假定识别框架 $\Theta = \{A, B, C\}$, 有两条证据的基本置信指派如下: $m_1(A) = 1/3, m_1(B) = 1/3, m_1(C) = 1/3; m_2(A, B, C) = 1$ 。

第一个基本置信指派表达的意思为该证据对三个命题的支持度都为 $1/3$ 。第二个基本置信指派表达的意思为该证据在识别框架内对系统完全未知。从直观分析上看, 两证据之间是有一定冲突的。由于两证据焦点之间相互包含, k 为 0, 由式(6)计算得 $cf_{1,2} = 0.289$, 结果合理, 与直观分析一致。

例 5 假定识别框架 $\Omega = \{1, 2, 3, \dots, 15\}$, 有两条证据的基本置信指派如下: $m_1(7) = 0.15, m_1(A) = 0.85; m_2(1, 2, 3, 4, 5) = 1$ 。

式中, 子集 A 按照 $\{1\}, \{1, 2\}, \{1, 2, 3\}, \dots, \{1, 2, 3, \dots, 15\}$ 顺序变化。

表 1 和图 1 显示了当子集 A 顺序变化时, 经典冲突系数 k 、证据距离 d_{BPA} 、新冲突系数 $cf_{i,j}$ 的变化情况。

表 1 冲突系数的比较

例子	k	d_{BPA}	$cf_{i,j}$	例子	k	d_{BPA}	$cf_{i,j}$
$\{1\}$	0.15	0.838	0.419	$\{1, \dots, 9\}$	0.15	0.632	0.347
$\{1, 2\}$	0.15	0.730	0.382	$\{1, \dots, 10\}$	0.15	0.669	0.360
$\{1, 2, 3\}$	0.15	0.602	0.336	$\{1, \dots, 11\}$	0.15	0.697	0.370
$\{1, \dots, 4\}$	0.15	0.439	0.275	$\{1, \dots, 12\}$	0.15	0.720	0.378
$\{1, \dots, 5\}$	0.15	0.15	0.15	$\{1, \dots, 13\}$	0.15	0.739	0.385
$\{1, \dots, 6\}$	0.15	0.405	0.262	$\{1, \dots, 14\}$	0.15	0.754	0.390
$\{1, \dots, 7\}$	0.15	0.515	0.304	$\{1, \dots, 15\}$	0.15	0.767	0.395
$\{1, \dots, 8\}$	0.15	0.584	0.330				

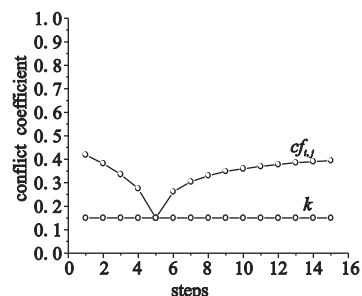


图 1 新冲突系数变化

由于经典冲突系数 k 反映的是证据间的非相互包含程度, $\{7\}$ 始终与 $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ 无交集, A 始终与 $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ 有交集, 经典冲突系数 k 也就始终为 0.15, 显然这与实际不符。新冲突系数 $cf_{i,j}$ 在子集 A 顺序变化的过程中先减小后增大, 当子集 $A = \{1, 2\}$ 时比子集 $A = \{1, 2, 3\}$ 时冲突要大, 在 $A = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 时两证据间冲突最小, 随后随着子集 A 中元素的增多而增大, 与直观分析一致并且符合逻辑。由表 1 和图 1 可以看出, $cf_{i,j}$ 较好地反映出了当焦点 A 变化时冲突程度的变化情况, 数值大小较好地表征了证据之间的冲突大小。

4 结束语

各传感器信息受现场环境因素和人为因素(下转第 1730 页)

表 3 应急反应基地调运结果

反应基地名称	趟数	调运量	运输时间
A_2	1	8	(2,4)
A_4	1	10	(5,6)
A_3	1	9	(4,7)
A_5	1	8	(7,8)
A_1	1	12	(7,9)
A_2	2	20	(7,13)
A_1	2	3	(12,17)

表 4 物资供应点供应结果

物资供应点名称	基地运输趟数	供应量
S_{11}	1	10
S_{13}	1	2
S_{21}	2	15
S_{22}	2	5
S_{12}	2	3

在此算例下,应用贪婪算法能很快给出局部最优解,计算复杂性从 $O(2^n)$ 降为 $O(n^2)$ 。当应急限制期改为 15 时,应用本文设计的算法运行时会直接报错,显示找不到最优解。因此,本文设计的贪婪算法是一种逐步构造局部最优解的过程,一旦过程中有不符约束条件的结果出现,就直接中断运行,无法得到最终的结果。

5 结束语

本文通过分析现实条件对海上应急救援能力的约束,针对应急反应基地物资储备量无法满足事故需求及其运力存在限制的问题,考虑到海上应急调运的不确定性,提出三级应急物资协同调度的概念模型,借鉴需求链的思想,构建二阶段动态调度模型,并设计贪婪算法,解决了应急反应基地对应急物资

的持续供应,以及在有限运力下快速响应救援的问题。但本文在建模过程中简略了装卸时间以及应急物资消耗时间对整个调运时间的影响,同时将调运成本完全让位于救援时间,这些都需要进一步研究和改进。

参考文献:

- [1] HAGHANI A, OH S. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations [J]. *Transportation Research Part A*, 1996, 30(3): 231-250.
- [2] PSARAFTIS H N, ZIOGAS B O. A tactical decision algorithm for the optimal dispatching of oil spill clean up equipments [J]. *Management Science*, 1985, 31(12): 1475-1491.
- [3] WILHELM W E, SRINIVASA A V. Prescribing tactical for oil spill cleanup operations [J]. *Management Science*, 1997, 43(3): 386-402.
- [4] 刘春林,何建敏,盛昭瀚. 给定限制期条件下最小风险路径的选取算法[J]. *系统工程学报*, 1999, 14(3): 221-226.
- [5] 杨继君,许维胜,冯云生,等. 基于多模式分层网络的应急资源调度模型[J]. *计算机工程*, 2009, 35(10): 21-24.
- [6] YI Wei, OZDAMAR L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 179(3): 1177-1193.
- [7] SHEU J B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters [J]. *Transportation Research Part E*, 2007, 43(6): 687-709.
- [8] 施晓岚,许宗楨,郭晓汾. 基于轴辐式结构的应急物资动态调度网络研究[J]. *物流技术*, 2008, 27(9): 87-90.
- [9] 王晶. 海上船舶溢油事故应急物资调度问题研究[D]. 大连:大连海事大学, 2011.
- [10] 郭瑞鹏. 物资调运时间为区间数的最短路问题研究[J]. *北京理工大学学报:社会科学版*, 2006, 6(8): 29-30.
- [11] functions based on distance of evidence [J]. *Decision Support Systems*, 2004, 38(3): 489-493.
- [5] 胡昌华,司小胜,周志杰,等. 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.
- [6] DENG Yong, JIANG Wen, SADIQ R. Modeling contaminant intrusion in water distribution networks: a new similarity-based DST method [J]. *Expert Systems with Application*, 2011, 38(1): 571-578.
- [7] 韩德强,邓勇,韩崇昭,等. 利用不确定度的冲突证据组合[J]. *控制理论与应用*, 2011, 28(6): 788-792.
- [8] 刘湘伟,周国辉,郝成民. 基于 D-S 理论的多传感器目标识别能力分析[J]. *传感技术学报*, 2011, 24(7): 1017-1021.
- [9] 吴瑕,周焰,蔡益朝,等. 多传感器目标融合识别系统模型研究现状及问题[J]. *宇航学报*, 2010, 31(5): 1413-1420.
- [10] 蒋雯,张安,邓勇. 改进的二元组冲突表示方法[J]. *红外与激光工程*, 2009, 38(5): 936-940.
- [11] CHEN Yu-xin, WU Ji-yi, CONG Jian, et al. A more effective definition of evidential conflict combined with evidential distance [J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2011, 8(9): 1729-1734.
- [12] JOUSSELME A L, GRENIER D, BOSSE E. A new distance between two bodies of evidence [J]. *Information Fusion*, 2001, 2(1): 90-101.
- [13] 蒋雯,张安,邓勇. 基于新的证据冲突表示的信息融合方法研究[J]. *西北工业大学学报*, 2010, 28(1): 27-32.

(上接第 1717 页)等多方面的影响,不可避免地常发生高度冲突。然而,以往研究人员更多地从组合方法等方面来考虑冲突信息的融合问题,忽略了对证据冲突本身的研究。本文认为确定证据之间是否存在冲突、较好地度量证据之间的冲突程度,是进行冲突信息融合的基础。

经典冲突系数 k 被广泛认为是表征证据间冲突的变量,但研究表明用经典冲突系数 k 来表征证据之间的冲突程度具有很大的局限性。本文综合考虑证据之间的差异性和非包含性,在前人研究的基础上,提出一种改进的冲突表示方法,以此来度量证据间的冲突程度。仿真示例验证了该方法的有效性。本文方法只适用于辨识框架完整的情况,对于开放世界中如何度量证据间的冲突,以及是否可以找到一个新的更优的模型来表征证据之间的冲突程度,这些都有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] ZADEH L. A simple view of the Dempster-Shafer theory of evidence and its implication for the rule of combination [J]. *AI Magazine*, 1986, 7(2): 85-90.
- [2] MURPHY R R. Dempster-Shafer theory for sensor fusion in autonomous mobile robots [J]. *IEEE Trans on Robotics and Automation*, 1998, 14(2): 197-206.
- [3] 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.
- [4] DENG Yong, SHI Wen-kang, ZHU Zhen-fu, et al. Combining belief