

一种冲突证据的融合方法

关欣, 孙晓明, 何友

(海军航空工程学院 信息融合技术研究所 山东 烟台 264001)

【摘要】针对D-S证据理论的冲突证据融合问题进行了研究,通过对证据进行冲突检验及修正弥补了D-S证据理论在处理冲突证据时的不足。采用了加性策略对事件进行排序的方法,找出证据支持最大的 q 个事件,就是最有可能是识别结论的 q 个事件,对其进行冲突检验及修正。解决了D-S证据合成方法组合冲突证据时出现的问题,保证了非冲突证据的有效合成。通过仿真试验表明该算法能有效地排除干扰,得出了符合实际的组合结果。

关键词 冲突证据; D-S证据理论; 数据融合; 多传感器

中图分类号 TN 974

文献标识码 A

A Novel Fusion Method for Conflicting Evidences

GUAN Xin, SUN Xiao-ming, HE You

(Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical Engineering Institute Yantai Shandong 264001)

Abstract D-S evidence combination can not proceed if the evidence totally collides with each other highly, and the combination result can not keep accord with the real condition when the evidence seriously conflicts. To solve this problem, this paper presents a new method to verify and modify the conflicting evidences. In this method, additive strategy is adopted to make events to be descending sort firstly, then the q events which are most likely to be recognition results are sought out. Next, these events are verified and modified by using the method proposed in this paper. Finally, simulation experiments are conducted to demonstrate the rationality of this new improved algorithm when dealing with conflicting evidences. Although evidences conflict one another highly, the combination result still satisfies the practical situation.

Key words conflicting evidences; D-S evidence theory; data fusion; multisensor

1 D-S证据理论及融合冲突证据遇到的问题

D-S证据理论为不确定信息的表达和合成提供了自然而强有力的方法,这使得它在数据融合等领域获得了广泛的应用。但是,D-S证据理论也存在一些不足之处,即组合规则无法处理冲突。当证据间没有冲突或低冲突时,证据的推理基本正常;但当证据之间严重冲突的情况下,组合结果往往与实际情况不相符合。为了解决这一问题,国内外许多学者就适用于冲突证据的合成公式进行了研究^[1-4]。

1.1 基本D-S证据理论框架及融合准则

D-S证据理论首先定义识别框架 U ,它是由一些完备的互不相容的元素组成。对于问题域中的任何命题 A ,都应包含于 U 的幂集,用 2^U 表示。 m 是命题的基本概率分配函数(Basic Probability Assignment

Function, BPAF),满足以下两个条件的映射:

$$\begin{cases} m(\phi) = 0 \\ \sum_{A \subset U} m(A) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $2^U \rightarrow [0,1]$ Shafer把基本概率赋值函数解释为证据的主观表示,即对命题 A 的精确信任程度,表示了对 A 的直接支持。

与BPAF有关的信任函数(Belief Function)和似真度函数(Plausibility Function)分别定义为:

$$BEL(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad \forall A \subset U \quad (2)$$

$$PL(A) = 1 - BEL(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \phi} m(B) \quad (3)$$

信任函数与BPAF是互相唯一确定的,信任函数值可以理解为证据对命题 A 的总支持度,或在该证据下决策者有理由相信命题 A 的程度。似真度函数表示不否定 A 的信任度。规定的信任区间($BEL(A), PL(A)$)描述 A 的不确定性。D-S证据理论最吸引人的地方在

收稿日期: 2005-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60572161)

作者简介: 关欣(1978-),女,博士生,讲师,主要从事多传感器信息融合、雷达数据处理、模式识别方面的研究。

于它能够很好地表示未知信息的程度。

证据理论中的组合规则提供了一个非常有用的合成公式,使得本文能够融合多个证据源提供的证据,定义如下:

$$m(A) = \frac{\sum_{A_i \cap B_j \cap C_l \cap \dots = A} m_1(A_i) m_2(B_j) m_3(C_l) \dots}{1 - \sum_{A_i \cap B_j \cap C_l \cap \dots = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j) m_3(C_l) \dots} \quad (4)$$

$$m(\Phi) = 0$$

Dempster组合规则满足结合律和交换律。令 $k = \sum_{A_i \cap B_j \cap C_l \cap \dots = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j) m_3(C_l) \dots$, 它的大小反

映证据冲突的程度,系数 $\frac{1}{1-k}$ 称为归一化因子,其作用是为了避免在合成时将非零的概率赋给空集。

1.2 证据理论在处理冲突证据时的不足

从上面的定义中可以看出, k 客观地反映了融合过程中证据间的冲突程度, $0 < k < 1$, k 越大,证据间冲突越激烈,矛盾越明显。若 k 接近于1,很可能产生不合理的结果;若 $k=1$,即证据发生完全冲突的情况,则无法用D-S组合规则进行融合。主要表现在:

(1) 当证据高度冲突时,式(4)会得到明显不合情理的结果。

设 $U = \{A, B, C\}$, 有两条BPAF m_1, m_2 分别为:

$$m_1(A) = 0.99, m_1(B) = 0.01, m_1(C) = 0.0$$

$$m_2(A) = 0.0, m_2(B) = 0.01, m_2(C) = 0.99$$

则由D-S合成式(4),计算得出 $m(A) = m(C) = 0$, $m(B) = 1$ 。即两个对假设 b 支持度极小的证据,合成后得到了对其几乎肯定的支持,显然这是不合理的。针对这种情况,文献[1]对D-S公式做了改进,去掉了归一化因子 $\frac{1}{1-k}$,并将反映证据冲突程度的因子

k 在合成后赋给了 $m(U)$ 。文献[1]的观点是:既然对冲突的证据无法做出合理的抉择,就将其归入未知邻域。这样处理的实际结果表明尽管提供了多个证据,但由于它们之间是相互冲突的,仍然知之甚少。

(2) BPAF的微小变化会使组合结果产生急剧变化。如对上述 m_1 函数略加修改:

$$m_1(A) = 0.98, m_1(B) = 0.01, m_1(C) = 0.01$$

m_2 不变,则得 $m(B) = 0.01$ 。与(1)中得到的 $m(B) = 1$ 相比,组合结果几乎是相反的。这反映合成规则BPA函数的敏感性。

(3) 当一条证据与多条证据完全不一致时,出现一票否决的效果,显然结果是不合理的。如设

$$m_1(A) = 0.98, m_1(B) = 0.01, m_1(C) = 0.01$$

$$m_2(A) = 0.0, m_2(B) = 0.01, m_2(C) = 0.99$$

如果有 $m_1 = m_3 = m_4 = \dots = m_n$, 则合成结果为 $m(A) = m(C) = 0$, $m(B) = 1$,显然是不合理的。若采用文献[1]公式,合成结果变化并不大,仍有 $m(A) = 0$ 。而多传感器系统中一个或少数几个传感器出错可能是频繁的,故采用Dempster和Yager合成规则,则可能产生不期望出现的结果。对此,文献[2]提出了又一种合成公式,认为即使证据之间存在着冲突,它们也是部分可用的,其可用程度取决于证据的可信度。但本文认为其可信度的定义带有一定的主观性,所以有必要进一步研究冲突证据的合成问题。

2 改进的冲突证据融合方法

在实际情况中,出现证据冲突往往是敌方干扰或该传感器工作异常所致,这显然是本文不希望的,需要对该证据进行修正。设 $m_i(\cdot)$, $i=1,2,\dots,m$ 为基本概率赋值函数;事件记为 A_j , $j=1,2,\dots,n$;称为第 i 条证据对第 j 个事件的基本概率赋值为基元,则记为 m_{ij} 。

(1) 证据的冲突检验:

为了使算法不失一般性,需要对证据进行冲突检验。

当一基元对事件支持较小而其余支持这一事件的基元都很大的时候,有理由认为这一基元与其余基元产生冲突,表明其异常。先采用加性策略,找出支持最大的事件,然后判断其是否产生冲突(事件较多时,可找出支持最大的几个事件对其进行冲突判断)。

同理当一基元对事件支持较大而其余有相当一部分支持这一事件的基元都很小的时候,也认为其异常,不过本文有理由认为这种异常基元所支持的事件不是识别结论,即对识别结果不产生影响,所以对其不必关心。

采用加性策略,找出支持最大的 q 个事件 B_k , $k=1,2,\dots,q$ 。令:

$$S_j = \sum_{i=1}^m m_{ij} \quad (5)$$

对 S_j 进行排序,前 q 个 S_j 对应的事件即为 $\{B_k, k=1,2,\dots,q\}$,然后在 $\{B_k\}$ 中进行冲突验证。考虑基元在各自证据中所占比重对证据合成的影响,计算其对同一事件支持的基本份额:

$$P_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m m_{ij} \quad j=1,2,\dots,q \quad (6)$$

计算 P_j 与基元的差值:

$$Q_{ij} = P_j - m_{ij} \quad (7)$$

$$S_{ij} = \frac{P_j}{Q_{ij}} \quad (8)$$

给定阈值 $\alpha (\alpha > 1)$, 若 $1 < S_{ij} < \alpha$, 即判定 m_{ij} 为冲突证据, 记为 m_{ik} 。若 $S_{ij} \geq \alpha$ 或 $S_{ij} < 0$ 则认为证据正常。其中阈值 α 的选取与BPA函数的数据准确度有关, BPA函数的数据准确度越高, 支持同一事件的基元就越集中, α 相应地就越大。

而由 $1 < S_{ij} < \alpha$ 可推出 $0 < m_{ij} < \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j$, 由 $S_{ij} \geq \alpha$ 或 $S_{ij} < 0$ 可推出 $m_{ij} \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j$ 。

这样, 证据 m_{ij} 为冲突证据的判决条件可进一步表示为:

$$0 < m_{ij} < \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j \quad (9)$$

证据 m_{ij} 为正常证据的判决条件可表示为:

$$m_{ij} \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j \quad (10)$$

(2) 对冲突证据 m_{ik} 进行修正:

$$m_{ik} = m_{ik} + \frac{1}{l} \quad (11)$$

式中 $\frac{1}{l}$ 称为修正步长。 l 的选取与事件的个数 n 有关, 从实际考虑, 修正步长不能超过 $\frac{1}{n}$, 一般取 $l = 2n$ 即可。此时 m_{ik} 不满足式(1)的条件, 需要进行归一化处理得:

$$m'_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_j m_{ij}} \quad (12)$$

返回(1), 再一次进行证据的冲突检验、修正, 直至满足条件 $m_{ij} \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j$ 。

这样经过对冲突证据的检验及修正, 便可继续使用式(4)对证据进行合成。

3 实验结果及分析

3.1 应用实例

假设识别框架 $U = \{A, B, C\}$ 上的三条BPA函数(证据) m_1, m_2, m_3 , 直接利用证据理论进行融合结果如表1所示。由表中计算结果可看出, 最终的决策结果是 B , 显然与直观相悖。给定阈值 $\alpha = 2$, 经过对证据进行冲突检验及修正后再利用证据理论进行融

合, 结果如表2所示。

表1 直接利用D-S合成规则的融合结果

	A	B	C
m_1	0.900 0	0.090 0	0.010 0
m_2	0.010 0	0.400 0	0.590 0
m_3	0.700 0	0.290 0	0.010 0
$m_1 \oplus m_2 \oplus m_3$	0.176 8	0.707 3	0.115 9

表2 对冲突证据进行检测修正后的融合结果

	A	B	C
m_1	0.560	0.236	0.204
m_2	0.204	0.360	0.436
m_3	0.700	0.290	0.010
$m_1 \oplus m_2 \oplus m_3$	0.758	0.234	0.008

显然最终结果是 A , 与直观相符。由仿真试验可以看出本文提供的算法可较好地解决证据理论在处理冲突证据时的不足。

3.2 仿真分析

假设一架敌方A型战斗机与我机从相距100 km处相对匀速飞行, 飞机相对速度为1 km/s。我方飞机自动识别系统中有三种传感器提供敌方飞机的类型信息。目标识别传感器每秒提供一次数据, 而且每个传感器提供的数据准确度随距离的增大而减小, 10 km时传感器提供的数据准确度为80%, 100 km时为40%。在两机相距20~30 km这段时间中, 我机一传感器被干扰, 干扰期间该传感器提供的数据准确度为10%。仿真中阈值 $\alpha = 2$ 。A型战斗机的基本概率如图1所示。

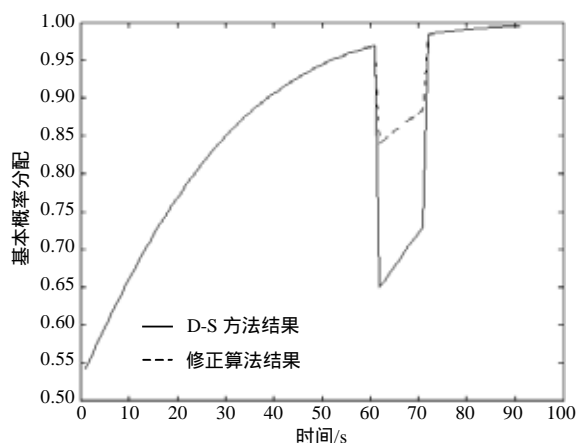


图1 A型战斗机的基本概率分配函数

(下转第56页)

3 结束语

本文设计了一种应用于串联型稳压器的具有自建基准的新型误差放大电路。与传统的、已经大量使用的串联型稳压器电路中将误差放大器与带隙基准分开成两个独立单元的设计方法^[8]相比,本文设计的结构更为简练,大大节省了版图面积。因为在通常情况下,单独设计的、具有较高精度的带隙基准单元所占版图面积可与误差放大器单元相当,甚至更大一些。因此,该电路结构具有构思巧妙,结构优化,易于集成,同时还具有很高的开环增益、共模抑制比及较优的交流特性等优点。

参 考 文 献

- [1] GABRIEL A, RINCON M, PHILLIP E. Allen. A low-voltage, low quiescent current, low drop-out regulator[J]. IEEE Solid-State Circuits, 1998, 33(1): 526-529.
- [2] CHAITANYA K. CHAVA J, SILVA M. A frequency compensation scheme for LDO voltage regulators[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. I, 2004, 51: 1041-1050.

- [3] GABRIEL A, RINCON M, CURRENT E, et al. Low drop-out regulators[D]. PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, 1996.
- [4] BEHZAD R. Design of analog CMOS integrated circuits[M]. Boston, MA: McGraw-Hill inc. 2001.
- [5] JIN Hai-yan, ZHANG Li-chun. Electrical determination of bandgap narrowing in bipolar transistors with Si and Si Gebases[J]. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(4): 456.
- [6] PAUL R, PAUL J H, Robert G. M. Analysis and design of analog integrated circuits[M]. Fourth Edition. NewYork: John wiley & Sons, Inc., 2001: 317-327.
- [7] 朱正涌. 半导体集成电路[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 309-310.
- [8] JIANG Y, LEE E K F. Design of low-voltage bandgap reference using transimpedance amplifier[J]. IEEE trans. Circuits Syst. , 2000, 47: 552-555.

编 辑 刘文珍

(上接第32页)

从图中看出,在发生证据严重冲突的情况下,传统D-S融合方法正确命题的可信度下降很快,产生了误判。而本文采用的方法正确命题的可信度下降不大。由此可见,在存在严重冲突的情况下,本文的融合算法可以较好地排除干扰带来的影响,得出符合实际的信息合成结果。

4 结束语

本文提出了一种新的处理冲突证据的融合方法,该方法通过对证据进行冲突检验、修正,很好地弥补了D-S证据理论在对高度冲突的证据进行融合时的不足。同时,需要指出的是,证据的合成与其应用背景具有很强的相关性,很难找到具有普遍

适用性的融合方法。

参 考 文 献

- [1] YAGER R H. On the dempster-shafer framework and new combination rules[J]. Information Science, 1987, 41: 93-137.
- [2] 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.
- [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.
- [4] LEFEVRE E, COLOT O, VANNOORENBERGHE P, et al. A generic framework for resolving the conflict in the combination of belief structure[C]// Information Fusion, 2000 Proceedings of the Third International Conference, 2000: 11-18.

编 辑 刘文珍