

证据理论及其在目标识别中的应用

符艳军¹, 孙开锋², 史超¹

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 西安精密机械研究所, 陕西 西安 710075)

摘要:随着防空作战环境的日益复杂,快速准确地进行空中目标识别显得尤为重要。多元信息融合为目标识别提供了一个新的思路,信息融合可在像素级、特征级及决策级3个层次上进行。基于证据推理的决策级融合以其在自动目标识别中特有的优势而成为研究的热点。为了解决 Dempster 组合规则在高冲突证据下存在的问题,对组合规则的思想进行了分析;讨论了针对该组合规则的两大主流修正方向:基于修正证据源的改进措施和基于修正 Dempster 组合规则的方法一些改进措施;针对空中目标识别问题,提出了综合运用各种改进思想的融合方法,给出了识别过程的流程图,算例结果表明本文方法的有效性。

关键词:目标识别;证据推理;Dempster 组合规则

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)04-0050-04

在新一代作战系统中,依靠单传感器提供信息已经无法满足作战需要,必须运用包括微波、毫米波、电视、红外、激光、电子支援设施以及电子情报技术等覆盖宽广频段的各种有源和无源探测在内的多传感器系统。多传感器信息融合是指协调使用多个传感器,把分布在不同位置的多个同类或不同类传感器所提供的局部不完整观测信息加以综合,消除多传感器信息之间可能存在的冗余和矛盾,加以互补,降低不确定性,获得对物体或环境一致性描述的过程。证据理论以其在不确定性的表示、量测和组合方面的优势成为最适合目标识别领域的一种不确定推理方法。Dempster 组合规则对高置信度低冲突证据的应用比较成功,但对低置信度高冲突证据的组合往往会得出有悖常理的结果。为此,很多学者对证据冲突问题进行了研究并提出了一些改进措施。本文在前人研究的基础上,针对空中目标识别问题,提出了综合运用各种改进思想的融合方法,并证明了其有效性。

1 证据推理及其分析

1.1 Dempster 合成法则

Dempster 合成法则是反映证据联合作用的一个法则。这里的证据指根据专家经验、传感器信息等多种途径产生的对某些命题的度量。具体融合公式如式(1)、式(2)。Dempster 规则具有交换性和可结合性,对于多个证据的合成,可以串行计算依次合成各证据,也可并行两两合成后再合成。

设识别框架为 θ , m_1 和 m_2 分别是其基本置信指派函数(BPA), 焦元分别为 A_1, A_2, \dots, A_k 和 B_1, B_2, \dots, B_l , 如果 $\sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) < 1$, 那么, 在满足 $m(\emptyset) = 0$ 时, 函数 $m: 2^\theta \rightarrow [0, 1]$ 对于所有的非空集合 $A \subset \theta$ 有

$$m(A) = \frac{1}{N} \sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad A \neq \emptyset \quad (1)$$

式中:

$$N = \sum_{A_i \cap B_j \neq \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j) > 0 \quad (2)$$

收稿日期: 2008-01-15

作者简介: 符艳军(1972-), 女, 陕西兴平人, 讲师, 博士生, 主要从事信息融合、网络安全研究。
E-mail: yanjun-fu@163.com

1.2 Dempster 合成法则分析

Dempster 合成规则认为:若 $A = A_i \cap B_j$ 且 $A \neq \emptyset$, 则 $m_1(A_i)m_2(B_j)$ 是确切分配到 A 上的一部分信质, 式(2)的 N 是所有分配到 A 上的信质总和。但按这种理解, 当 $A = \emptyset$ 时, 将会产生有一部分信质 $\sum_{A_i \cap B_j \neq \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j)$ 分配到空集上的不合理现象, 于是组合规则丢弃这部分信质, 但丢弃后辨识框架上所有焦元总信质 $\sum_{E \in \Theta} m(E)$ 就可能小于 1, 为此又在每一信质上乘一系数 $1/N$ 以满足总信质为 1 的要求。

由以上分析可以看出:在 Dempster 合成规则中, 为了保持基本置信指派函数(BPA)的归一性, 使两个证据的每个公共焦元的 BPA 变为原来的 $1/N$ 倍, 同时遗弃了独立焦元的每个冲突, 基于没有任何矛盾的那部分信息构造新的置信结构。因此, Dempster 合成规则更适合于处理高置信度低冲突证据的合成, 对低置信度高冲突则会产生各种“一票否决”的不合理现象, 为此, 很多学者对 Dempster 规则提出了改进措施。

2 D - S 证据冲突问题

对于 Dempster 证据合成结果的不合理现象, 在辨识框架是完备的假设下, 出现了两方面的改进措施:一方面是针对原始证据源的, 另一方面是针对 Dempster 组合规则的。

2.1 基于修正证据源的改进措施

该类方法的观点认为^[1]: Dempster 组合规则本身没有错, 当证据高度冲突时, 应该首先对冲突证据进行预处理, 然后再使用 Dempster 组合规则。Haenni^[2] 指出: Dempster 规则有坚实的数学基础, 是对 Bayes 方法的推广。如果模型 X 和方法 Y 产生了不合理结果 Z , 而方法 Y 即 Dempster 组合规则没问题, 应该修改的是模型即证据源, 而不是规则。文献[3]提出了证据的加权平均预处理, 目的是最大限度地减小不可靠数据源对融合结果的影响; 文献[4]认为证据冲突往往是敌方干扰或传感器工作异常所致, 先对证据进行冲突检测, 剔除异常证据, 从而保证了非冲突证据的有效合成; 文献[5]针对多传感器数据融合中 D - S 证据推理方法的 BPA 获取存在主观性的问题, 提出一种基于决策表的证据获取和 BPA 客观确定方法。

2.2 基于修正 Dempster 组合规则的方法

该类方法认为出现不合理现象的关键在于组合规则对冲突的处理不当, 提出了对 Dempster 组合规则的改进措施, Yager^[6] 最早提出将冲突证据全部分配给未知项, 随后, Smets 又提出将冲突全部赋给空集, 孙权^[7]等在引入证据可信度基础上, 对 Yager 合成公式进行了修改, 根据证据可信度分配冲突证据, 提出了一种新的加权形式的合成公式; 文献[8]、[9]认为 D - S 组合规则把局部的冲突放在全局中分配不合理, 提出了加权分配冲突法和吸收法, 该方法认为受扰动干扰的焦元一般比未受扰动干扰的焦元的 BPA 值小, 应该把冲突 BPA 值分给产生冲突焦元中 BPA 值较大的焦元。

假设在两个证据的所有焦元中, 具有最高 BPA 值的焦元所表示的命题为真的条件下, “吸收法”组合规则为

$$m(A) = \sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j) + \Delta A \quad (3)$$

其中 ΔA 取值与融合焦元的 BPA 有关, 可根据实际情况对融合域进行调整, 具体方法参考文献[9]。

2.3 基于不完备辨识框架的证据冲突

以上提出的针对证据源的改进措施和针对组合规则的修正方法都是在辨识框架完备的假设之上。实际上由于先验知识的缺乏和认知能力的限制, 所定义的辨识框架很可能是不完备的。如果导致证据冲突的原因是辨识框架的不完备, 则不管是对证据源进行改进或对组合规则进行修正都不能解决问题。针对如何在不完备辨识框架下进行证据组合的问题, Smets^[10]提出了“开放世界假设”, 曾成^[11]提出一种“开放识别框架”, 把不完备识别框架分为已知和未知, 对 Smets“开放世界假设”方法的不足进行了一些改进。

3 证据推理在空中目标识别中的应用

本文暂不考虑因为辨识框架不完备引起的证据冲突情况。在“闭世界”假设前提下, 假设辨识框架 Θ 中焦元分别为 A_1, A_2, \dots, A_k , 第 i 个传感器对第 j 个目标的 BPA 为 $m_i(A_j)$, 在一般的防空作战中, 可以按照如下的步骤进行目标识别:

- 1) 检测是否新型武器。给定阈值 α , 如果 $\max_{j=1,2,\dots,k} (m_i(A_j)) \leq \alpha$, 即所有传感器对辨识框架内已知焦元的 BPA 值都小于阈值 α , 则待识别目标很可能为未知新型武器, 判决结束, 否则转 2);
- 2) 检测是否存在证据冲突。按照文献[4]的思想, 检测是否存在证据冲突。计算各传感器对同一事件 A_j 的平均支持度 P_j ;

$$P_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m m_i(A_j) \quad (4)$$

给定阈值 $\beta > 1$ (阈值 β 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, β 相应就越大), 计算 γ ;

$$\gamma = \frac{\beta - 1}{\beta} P_j \quad (5)$$

如果 $0 < m_i(A_j) < \gamma$, 则 $m_i(A_j)$ 为冲突证据, 转 3); 如果 $m_i(A_j) > \gamma$, 则 $m_i(A_j)$ 为正常证据, 转 4);

- 3) 按式(6)对冲突证据进行修正后按(7)式归一化(式中 λ 的取值与焦元个数有关);

$$m_i(A_j) = (1 + \lambda_i) m_i(A_j) \quad (6) \quad m'_i(A_j) = m_i(A_j) / \sum_j m_i(A_j) \quad (7)$$

按式(4)、式(5)重新对修正后的证据进行冲突检测, 如果 $0 < m'_i(A_j) < \gamma$, 则转 5), 如果 $m'_i(A_j) > \gamma$, 则转 4);

- 4) 按照式(1)、式(2)的 Dempster 规则进行组合, 转 6);

5) 按照式(3)的“吸收法”进行证据的组合, 转 6), 经过加权处理后仍有证据冲突存在, 此时很可能是因为传感器工作异常或有噪声(扰动)存在, 应用吸收法效果较好;

6) 选取如下的其中一条或多条规则对融合结果做出判决^[12]。①目标类别应具有最大的 BPA 值; ②目标类别的基本置信指派值与其他类别的 BPA 值的差值必须大于某一阈值 T1; ③不确定性 BPA 值必须小于某一阈值 T2; ④目标类别的 BPA 值必须大于不确定性 BPA 值。

4 数值算例

假设系统的传感器收集了 3 个互相独立的证据 m_1, m_2, m_3 : $m_1(A) = 0.9, m_1(B) = 0.09, m_1(C) = 0.01$; $m_2(A) = 0.01, m_2(B) = 0.4, m_2(C) = 0.59$; $m_3(A) = 0.7, m_3(B) = 0.29, m_3(C) = 0.01$ 。

两种方法融合结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, D-S 方法决策结果为 B, 与人的直观判断结果相背, 而本文方法决策结果是 A, 与人的直观判断结果一致, 因此更为合理。

表 1 融合结果

Tab. 1 Fusion result

组合规则	$m(A)$	$m(B)$	$m(C)$
D-S 规则	0.176 8	0.707 3	0.115 9
本文方法	0.703 5	0.243 1	0.053 4

5 结论

本文在分析导致 Dempster 证据组合规则失效原因的基础上, 针对作战实际, 提出了综合运用两种改进思想的融合方法。在证据正常情况下, 直接用 Dempster 组合规则进行融合, 结果可使融合后的置信指派函数向辨识框架中更小的子集移动, 提高融合结果的确定性; 如果检测到证据冲突, 首先对证据源进行修改, 如果处理后的证据还是存在冲突, 考虑对组合规则进行修正, 采用吸收法对证据进行组合, 算例结果表明该方法比直接应用 Dempster 规则的决策结果更合理。

参考文献:

[1] 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): 891-897.

GUO Huawei, SHI Wenkang, DENG Yong, et al. Evidential Conflict and Its 3D Strategy: Discard, Discover and Disassemble?

- [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2007, 29(6): 891 - 894. (in Chinese)
- [2] Haenni R. Are Alternative to Dempster's Rule of Combination Real Alternative? Comments on About the Belief Function Combination and the Conflict Management Problem[J]. *Inf Fusion*, 2002, 3(3): 237 - 239.
- [3] Ferson S, Kreinovich V. Representation, Propagation, and Aggregation of Uncertainty[R]. S A N D Report, 2002.
- [4] 关欣. 一种冲突证据的融合方法[J]. *电子科技大学学报*, 2007, 36(1): 30 - 32.
GUAN Xin. A Novel Fusion Method for Conflicting Evidence[J]. *Journal University of Electronic Science and Technology of China*. 2007, 36(1): 30 - 32. (in Chinese)
- [5] 路艳丽, 雷英杰, 李兆渊. 一种 D-S 证据推理的 BPA 获取方法[J]. *空军工程大学学报; 自然科学版*, 2007, 8(3): 39 - 43.
LU Yanli, LEI Yingjie, LI Zhaoyuan. A Method of Getting BPA for D-S Evidence Reasoning[J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2007, 8(3): 39 - 43. (in Chinese)
- [6] Yager R R. On the Dempster - shafer Framework and New Combination Rules[J]. *Inf Sci*, 1989, 41(2): 93 - 137.
- [7] 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 Xiuqing, GU Weikang. A New Combination Rules of Evidence Theory[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2000, 28(8): 117 - 119. (in Chinese)
- [8] 张山鹰, 潘泉. 证据推理冲突问题研究[J]. *航空学报*, 2001, 22(4): 369 - 372.
ZHANG Shanying, PAN Quan. Conflict Problem of Dempster - shafer Evidence Theory[J]. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2001, 22(4): 369 - 372. (in Chinese)
- [9] 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 - 544.
ZHANG Shanying, PAN Quan, ZHANG Hongcai. A New Kind of Combination Rule[J]. *Control and Decision*, 2000, 15(5): 540 - 544. (in Chinese)
- [10] Smet S P. The Combination of Evidence in the Transferable Belief Model[J]. *IEEE Trans PAMI*, 1990, 12(5): 447 - 458.
- [11] 曾成, 赵保军, 何佩琨. 不完备识别框架下的证据组合方法[J]. *电子与信息学报*, 2005, 27(7): 1043 - 1046.
ZENG Cheng, ZHAO Baojun, HE Peikun. The Combination of Evidences in an Incomplete Frame of Discernment[J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2005, 27(7): 1790 - 1793. (in Chinese)
- [12] 程咏梅, 潘泉. 信息融合图像识别算法及其在三维飞机图像识别中的应用研究[J]. *航空学报*, 2004, 25(2): 176 - 179
CHENG Yongmei, PAN Quan. Information Fusion Image Recognition Algorithm and Applications in Three Dimension Airplane Image Recognition[J]. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2004, 25(2): 176 - 179. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)

Multi - sensor Target Identification Based on Evidence Theory

FU Yan - jun¹, SUN Kai - feng², SHI Chao¹

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2 Xi'an Precision Machinery Research Institute, Xi'an 710075, China)

Abstract: With the environment in aerial defending becoming increasingly complicated, it is very important to recognize the target fleetly and exactly. Multi - data fusion provides a new idea in target recognition. Information fusion can be performed at pixel level, feature level or decision level. Dempster's rule plays a potential role in auto - recognition of target, to solve the problems in the application of the evidence Theory, this paper analyzes the principle of Dempster's rule and then discusses its limitations and amendatory measures, including amending evidence source and modifying fusion rule. Finally, the paper proposes a general method for air target identification and presents the flow chart of the identification process. Through simulation and the comparison of it with other algorithms, the results show that the proposed algorithm is more efficient and feasible.

Key words: target identification; evidence reasoning; Dempster's rule