

一种改进的 D-S 证据算法

张乐星

(杭州师范大学 计算机系, 浙江 杭州 310012)

摘要: 利用 D-S 证据理论的信息融合算法, 提供了一种证据理论的改进方法以解决 D-S 算法在实现过程中存在的证据冲突问题。通过仿真试验, 对该方法的有效性进行了验证。

关键词: 证据理论; 信息融合; 证据冲突

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)11-0074-02

Improved algorithm of D-S evidence

ZHANG Le Xing

(Dept. of Computer, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: A data fusion method based on D-S evidence theory is described, and an improved algorithm of evidence theory is proposed to solve the conflicting evidences of D-S's application. At last, simulation experiments are conducted to demonstrate the validity of this algorithm.

Key words: evidence theory; data fusion; evidences conflicting

多传感器信息融合技术是对来自不同传感器(信息源)的数据信息进行综合分析, 以产生对被测对象统一的最佳估计, 因而可以有效地解决单传感器信息的模糊点, 增强系统正确决策的能力。由于传感器所提供的信息具有一定程度的不确定性, 因此信息融合过程实质上是一个非确定性推理与决策的过程。

本文利用 Dempster-shafer 证据理论进行信息融合的算法, 并针对 D-S 算法实现过程中存在的证据冲突问题提出了解决方法, 对该理论的不足采用了修正的合成规则, 最后通过仿真实验验证了该方法的有效性。

1 D-S 证据理论基础^[1-3]

D-S 证据理论用“识别框架 Θ ”表示所感兴趣的命题集, 定义了集函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$, 满足:

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

其中, m 为识别框架 Θ 上的基本可信度分配; 假如 A 属于识别框架 Θ , 则 $m(A)$ 称为 A 的基本可信数, 基本可信度反映了对 A 本身的信度大小。

对于任何的命题集, D-S 理论提出了信度函数的概念:

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (2)$$

即 A 的信度函数为 A 中每个子集的信度值之和。

关于命题 A 的信任, 单用信度函数来描述还是不够的, 因为 $\text{Bel}(A)$ 不能反映出怀疑 A 的程度。所以, 为了全面描述对 A 的信任, 引入一个怀疑 A 的程度的量。

假如存在 A 属于识别框架 Θ , 定义:

$$\text{pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A}) \quad (3)$$

$$\text{Dou}(A) = \text{Bel}(\bar{A})$$

Dou 为 Bel 的怀疑函数, pl 为 Bel 的似真度函数 $\text{Dou}(A)$ 为 A 的怀疑度, $\text{pl}(A)$ 为 A 的似真度。根据式(2), 可以用与 Bel 对应的 m 来重新表示 pl 。

假如存在 A 属于识别框架 Θ , 则:

$$\text{pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A}) = \sum_{B \subseteq \Theta} m(B) - \sum_{B \subseteq \bar{A}} m(B) = \sum_{B \cap A \neq \Phi} m(B) \quad (4)$$

$[\text{Bel}(A), \text{pl}(A)]$ 表示命题 A 的不确定区间; $[0, \text{Bel}(A)]$ 表示命题 A 完全可信的区间; 而 $[0, \text{pl}(A)]$ 则表示命题“ A 为真”的不怀疑区间。

对于信度的合成, Dempster 提出了如下的合成法则: 如果将命题看作识别框架 Θ 上的元素, 对于 $\forall m(A) > 0$, A 为信度函数 Bel 的焦点, 设 Bel_1 和 Bel_2 是同一识别框

技术与方法 Technique and Method

架 Θ 上的 2 个信度函数, m_1, m_2 分别是其对应的基本可
信度分配, 设 A_i 和 B_j 为焦元, 在 Bel_1 和 Bel_2 的联合作用
下, $m_1(A_i)m_2(B_j)$ 被分配到 $A_i \cap B_j$ 上。给定 $A \subset \Theta$, 若有
 $A_i \cap B_j = A$, 则 $m_1(A_i)m_2(B_j)$ 就是确切地分配到 A 上的部分

信度, 而分到 A 上的总信度为: $\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j)$, 但是

当 $A = \Phi$ 时, 将有部分信度 $\sum_{A_i \cap B_j = \Phi} m_1(A_i)m_2(B_j)$ 分到空集
上, 这显然不合理。为此可在每一信度上乘一系数 $(1 -$

$\sum_{A_i \cap B_j = \Phi} m_1(A_i)m_2(B_j))^{-1}$ 使总信度满足 1 的要求。至此, 可以
得到 2 个信度合成法则:

$$m(A) = m_1 \oplus m_2(A) = \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j)}{1 - \sum_{A_i \cap B_j = \Phi} m_1(A_i)m_2(B_j)} \quad (5)$$

对于多个信度的合成(融合), 令 $m_1 - m_n$ 表示 n 个信
息的信息度分配, 如果它们是由独立的信息得出的, 则融
合后的信度函数可表示为:

$$m(A) = \frac{\sum_{\cap A_i = A} \prod_{i=1}^m m_i(A_i)}{1 - \sum_{\cap A_i = \Phi} \prod_{i=1}^m m_i(A_i)} \quad (6)$$

2 D-S 证据理论在应用中存在的证据冲突问题

D-S 证据理论在应用中, 当遇到证据相差较大(即
证据冲突)时会出现很大的不足, 主要表现在:

设 $\Theta = \{A, B, C\}$

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

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

则由 D-S 合成计算得出 $m(A) = m(C) = 0, m(B) = 1$ 。说明 2
个对 B 支持度极小的证据, 合成后得到的结果竟然为
B, 显然是不合理的, 即发生了证据冲突而造成 D-S
算法的失效。

另外 m 的微小变化也会使组合结果产生急剧影响。
对上述数据稍作修改:

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

m_2 不变, 则得 $m(B) = 0.01$, 与 $m(B) = 1$ 相比, 组合结果几
乎是相反的。

最后, 当一条证据与多条证据完全不一致时, 会出
现一票否决的结果。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。

3 改进的冲突证据融合方法^[4-5]

在实际应用中, 若某个传感器工作异常则会出现证
据冲突, 此时就需要对该证据进行修正。设 $m_i (i=1, 2,$
 $\dots, m)$ 为基本概率赋值函数; 事件记为 $A_j (j=1, 2, \dots, n)$;

用 m_{ij} 表示为第 i 条证据对第 j 个事件的基本概率赋值
基元。

(1) 证据的冲突判断

当一基元对某事件支持较大, 而大部分支持该事件
的基元都很小, 则认为这一基元与其余基元产生冲突,
表明其异常。但这种异常基元所支持的事件不应该是识
别结论, 即对识别结果不产生影响, 所以此种证据冲突
可不考虑。

但是当一基元对某事件支持较小, 而其余支持这一
事件的基元都很大的时候, 也认为其异常, 即发生了证
据冲突, 而由前文可知这种冲突会对识别结果产生影
响, 是本文所考虑的情况。采用加性策略, 先找出支持最
大的 h 个事件 $B_k (k=1, 2, \dots, h)$ 。令:

$$s_j = \sum_{i=1}^m m_{ij} \quad (7)$$

对 S_j 进行排序, 前 h 个 S_j 所对应的事件即为 B_k , 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:

$$p_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m m_{ij} \quad j=1, 2, \dots, h \quad (8)$$

计算 p_j 与基元的差值:

$$Q_{ij} = p_j - m_{ij} \quad (9)$$

$$S_{ij} = \frac{p_j}{Q_{ij}}$$

给定阈值 $\alpha (\alpha > 1)$, 若 $1 < S_{ij} < \alpha$, 则认为 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 $m_{ij} \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j$ 。

由此得到, 判断证据 m_{ij} 为冲突证据的条件可表示为:

$$0 < m_{ij} < \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j \quad (10)$$

判断证据 m_{ij} 为正常证据的条件可表示为:

$$m_{ij} \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j \quad (11)$$

(2) 对冲突证据 m_{ik} 进行修正

$$m_{ik} = m_{ik} + \frac{1}{l} \quad (12)$$

式中 $1/l$ 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 $1/n$, 一般取 $l=2n$ 。此时
 m_{ik} 不满足证据的冲突判断条件, 进行归一化处理得:

$$m'_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_j m_{ij}} \quad (13)$$

技术与方法 Technique and Method

再次进行证据的冲突检验、修正,直至满足条件

$$m_j \geq \frac{\alpha-1}{\alpha} p_j。$$

经过对冲突证据的检验及修正,便可继续使用 D-S 算法对证据进行合成。

4 实验结果

假设识别框架 $\Theta=\{A, B, C\}$, 对应的证据为 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, 显然与实际不吻合。

表 1 直接利用 D-S 合成规则的融合结果

	A	B	C
m_1	0.899	0.090	0.011
m_2	0.010	0.401	0.589
m_3	0.701	0.289	0.010
$m_1 \oplus m_2 \oplus m_3$	0.178	0.706	0.116

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。此时识别结果是 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。

本文提出了一种改进的 D-S 证据算法, 该方法通过对证据冲突检验、修正, 很好地解决了 D-S 证据理论

表 2 对冲突证据进行检测修正后的融合结果

	A	B	C
m_1	0.559	0.236	0.205
m_2	0.205	0.360	0.435
m_3	0.701	0.289	0.010
$m_1 \oplus m_2 \oplus m_3$	0.759	0.233	0.008

对冲突证据进行融合时的不足, 保证了非冲突证据的有效合成, 提高了识别结果的正确性。

参考文献

- [1] BOGLER R L. Shafer dempster reasoning with application to muotisensor target identification system [J]. IEEE Trans. On Syst Man and Cybern, 1981,17(6):415-418.
- [2] 段新生. 证据理论与决策、人工智能[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1993.
- [3] 陈寅, 林良明, 颜国正. 证据理论应用于多传感器融合不确定性分析[J]. 测控技术, 2000, 19(7): 27-28.
- [4] 张淑清, 邓红, 王艳玲. D-S 证据理论在数据融合中的应用及改进[J]. 传感技术学报, 2003(1): 80-81.
- [5] 张乐星, 罗志增, 叶明. 用证据理论实现机器人多感觉信息的融合[J]. 机电工程, 1999(5): 79-80.

(收稿日期: 2009-11-10)

作者简介:

张乐星, 男, 1975 年生, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 计算机控制及安全。