

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.09.013

基于改进 D-S 理论在无人化武器系统信息融合中的应用

王刚, 赵云鹤

(陆军军官学院五系, 合肥 230031)

摘要: 针对无人化武器系统多传感器数据之间存在的信息融合问题, 提出一种将 AHP 法和 D-S 证据理论相结合的无人化武器系统信息融合算法。根据多个传感器信息融合时所在环境条件对各传感器精确程度的影响, 通过 AHP 法确定在多个传感器基本概率赋值中各传感器的权值, 并利用 D-S 证据理论进行改进, 实现了目标识别。实例分析结果证明: 改进后的识别结果明显优于传统 D-S 证据理论的识别结果, 在一定程度上改善了目标识别系统的性能。

关键词: 无人化武器系统; D-S 证据理论; AHP; 信息融合

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Application of Information Fusion in Unmanned Weapon System Based on Improved D-S Theory

Wang Gang, Zhao Yunhe

(No. 5 Department, Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the information fusion problem among multi-sensor data of unmanned weapon system, put forward the unmanned weapon system information fusion algorithm based on combination of AHP method and D-S evidence theory. According to the influence of environment on sensor accuracy when multi-sensor information fusion, confirm every sensor value of multi-sensor basic probability evaluating by analytic hierarchy process (AHP) method, use D-S evidence theory for improvement and realize object recognizing. The experiment analysis result shows that improve identification results is well than tradition D-S evidence theory, and improve the performance of target identification system to a certain extent.

Key words: unmanned weapon system; D-S evidence theory; AHP; information fusion

0 引言

在军事战场指挥信息系统、智能武器系统及工业自动化领域, 多源数据融合技术受到了越来越多的重视。作为未来武器系统的发展方向, 无人化武器系统比传统武器系统的信息化程度要求更高。为了更加准确地分析识别目标, 无人化武器系统大多配备了先进的多类传感器, 诸如雷达传感器 (synthetic aperture radar, SAR)、红外传感器 (infrared, IR) 和光电传感器 (electronic optical, EO) 等。如何协调使用多个传感器, 将多个同类或不同类传感器所提供的局部信息加以综合, 消除多传感器数据之间可能存在的冗余和矛盾, 加以互补, 降低其不确定性, 获得对物体或环境的一致性描述成为制约无人化武器系统侦察的主要问题。利用数据融合技术与模式判决算法实现对目标的识别, 能提高识别能力和识别稳定性。

针对数据融合的不同层次, 研究者提出了不同的融合算法, 例如 HIS 变换、D-S 证据理论、粗糙集、专家系统和模糊理论法等。其中 D-S 证据理论

因其能够很好地表示“不确定”及“不知道”等重要概念, 并具有无需先验概率、推理形式简单等优点, 被广泛应用于不确定性数据的处理, 并取得了较好的结果。作为一种对证据源修正的一种方法, 采用多传感器性能分析的层次分析定权法 (analytic hierarchy process, AHP) 是一种定性分析与定量分析相结合的, 系统化、层次化的分析方法, 能有效地综合测度决策者的判断和比较, 更符合实际使用环境, 且能提高目标识别的准确性及可靠性。因此, 笔者将 AHP 法和 D-S 证据理论相结合, 先通过 AHP 法确定单个传感器在特定条件下获取目标性质的概率在多个传感器赋值中所占的权值, 而后利用 D-S 组合得到结论, 实现无人化武器系统的信息融合和智能化处理。

1 基于 AHP 的 D-S 理论基础

1.1 AHP 法确定权重

在多传感器目标识别中应确定各传感器数据的权重, 例如, 天气情况良好能见度较高时 EO、IR

收稿日期: 2012-04-25; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11GJ003-134)

作者简介: 王刚 (1982—), 男, 河南人, 博士研究生, 从事武器系统运用研究。

对目标识别率优于 SAR; 当天气情况较差, 电磁环境复杂时 IR 优于 SAR 和 EO。因此, 可按情况对侦察识别环境进行分级, 从而选择不同级别确定各传感器在侦察识别结果中所占权重。

确定特定战场环境各传感器确定基本概率赋值的权值 W , 方法详见文献[1]。

1.2 传统的证据理论^[2-4]

D-S 证据理论是可以利用来自相互独立的、不同信息源的证据来提高对事件置信程度的多源信息组合规则。不需要考虑先验概率和条件概略知识, 能区分“不确定”、“未知”的差异。

1) 基本概念。

设 U 为变量 x 所有可能值的穷举集合, 且 U 的各元素是相互排斥的, 则称 U 为样本空间。对任一个属于 U 的子集 A (题) 令它对应一个数 $m \in [0, 1]$, 且满足: $m(\Phi) = 0$, Φ 为空集或为不可能事件;

$\sum_{A \subseteq U} m(A) = 1$ 。则称函数 $m(\cdot)$ 为 2^U 上的基本概率分配函数, $m(A)$ 为 A 的基本概率赋值, 简称 BPAF。

命题的信任函数 (Belief Function) $Bel: 2^U \rightarrow [0, 1]$ 为

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \quad \forall A \subseteq U \text{ 且 } \bar{A} = U - A \quad (1)$$

$Bel(A)$ 表示对 A 的总的信任程度, 称可信度。

命题的似然函数 (Plausibility Function) $Pl: 2^U \rightarrow [0, 1]$ 为

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \Phi} m(B) \quad (2)$$

其中: $\forall A \subseteq U$ 且 $\bar{A} = U - A$; $Pl(A)$ 表示不否定 A 的信任程度, 称拟信度。[$Bel(A), Pl(A)$] 分别为 A 的范围, 两者关系满足 $Pl(A) \geq Bel(A)$ 。

2) D-S 证据理论组合法则。

设 m_1, m_2, \dots, m_n 为 2^U 上的 n 个基本概率分配函数, 它们的正交和 $m = m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n$ 。则多个信任函数的组合规则:

$$\begin{cases} m(\Phi) = 0 \\ m(A) = \frac{\sum_{\substack{\cap A_i = A \\ 1 \leq i \leq n}} \prod m_i(A_i)}{1 - \sum_{\substack{\cap A_i = \Phi \\ 1 \leq i \leq n}} \prod m_i(A_i)} = \frac{\sum_{\substack{\cap A_i = A \\ 1 \leq i \leq n}} \prod m_i(A_i)}{1 - K} \end{cases} \quad (3)$$

其中: $K = \sum_{\substack{\cap A_i = \Phi \\ 1 \leq i \leq n}} \prod m_i(A_i) < 1$ 。

通过该组合规则, 可以得出融合处理后证据的概率分配函数, 进而计算出融合处理后证据的

$Bel(A)$ 和 $Pl(A)$ 。

2 基于 AHP 的 D-S 证据理论的应用

2.1 应用方法

无人化武器系统要快速精确获取目标信息, 其侦察感知分系统需要多个传感器数据的合成, 这就需要可靠省时的算法来实现多源数据的融合。

2.2 理论用于战场环境识别的应用过程

首先无人化武器系统通过传感器侦察获得目标信息, 对信息数据融合之前先要对传感器数据进行预处理, 包括对侦察数据的时间校对、目标合并以及对各侦察数据的容错处理等一系列工作, 再进行融合。然后根据判决逻辑, 作出决策。

用证据理论组合证据后, 解决战场环境识别问题时, 采用的是基于 BPAF 的决策^[5]。设 $\exists A_1, A_2 \subset U$, 满足

$$\begin{aligned} m(A_1) &= \max\{m(A_i), A_i \subset U\} \\ m(A_2) &= \max\{m(A_i), A_i \subset U, \text{and } A_i \neq A_1\} \end{aligned}$$

若有 $\begin{cases} m(A_1) - m(A_2) > \varepsilon_1 \\ m(U) < \varepsilon_2 \\ m(A_1) > m(U) \end{cases} \quad (4)$

则 A_1 为判决结果, 其中 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 为预先设定的门限。

3 系统仿真

为了检验 D-S 证据理论用于无人化武器系统信息融合的效果, 对系统进行了仿真实验。在复杂电磁环境中, 传感器权值为 W , 传感器设战场目标识别框架为 $U = \{O_1, O_2, O_3\}$, 系统使用 SAR、IR 和 EO 3 种传感器。其中 m_{RF} 和 m_{PW} 由 SAR 传感器确定, 无法区分用不确定 θ 代替。不同传感器探测的初始可信度如表 1, 由射频 RF、脉宽 PW、IR 及光学设备确定的基本概率赋值如表 2 所示。假设专家对各传感器打分, 从而得到评价矩阵。

表 1 不同传感器探测的初始可信度

S	RF	PW	IR	EO	W
RF	1	1	1/3	1/3	0.125
PW	1	1	1/3	1/3	0.125
IR	3	3	1	1	0.375
EO	3	3	1	1	0.375

需要确定权值最大的为基本参考量, 对 W 进行归一化修正^[6], 故可以得到 $W = (0.3 \ 0.3 \ 1 \ 1)$ 。 W 修正后各传感器可信度如表 3。