

# 基于 D-S 证据理论的多平台协同数据融合

张晓明, 王航宇, 黄 达

(海军工程大学指挥自动化系, 武汉 430033)

**摘要:**对 D-S 证据理论用于多平台协同数据融合进行了分析, 提出了多平台协同数据融合的设计思想和结构, 将其用于舰船类型的识别。通过 MATLAB 仿真, 证明了多平台协同数据融合降低了识别结果的不确定性, 比传统的单平台数据融合效果好, 验证了这一理论在多平台协同数据融合中的有效性和正确性。

**关键词:** D-S 证据理论; 舰艇多平台; 协同数据融合

## Cooperative Multi-platform Data Fusion Based on D-S Evidence Theory

ZHANG Xiaoming, WANG Hangyu, HUANG Da

(Dept. of Command Automatic, Naval Engineering University, Wuhan 430033)

**【Abstract】**A method of data fusion based on D-S evidence theory is analyzed to resolve cooperative multi-platform data fusion problems. The idea of design and configuration are brought forward. The method is applied in cooperative multi-platform data fusion for target recognition of the warship. The result shows that the application of D-S method in cooperative multi-platform data fusion reduce the uncertainty of target recognition compared with that in single platform data fusion by MATLAB simulative. The results indicate the theory is effective and correct.

**【Key words】**D-S evidence theory; Multi-platform; Cooperative data fusion

在海上舰艇编队作战系统中, 为了尽早发现敌人, 掌握战场的主动权, 就必须对编队各平台上的探测信息进行联合, 即必须对敌方目标的监测、跟踪、定位、识别和交战进行编队协同。多平台协同数据融合的任务就是在作战海域内, 协调使用编队各平台上的多种传感器, 将编队内分布于不同地理位置的各种传感器在空间或时间上冗余、互补的数据, 按某种规则进行优化组合, 产生比传统单平台融合更精确、更完全的测量和判断, 最后由编队协同融合中心将结果分发到各作战单元, 从而使各平台共享高质量的战场态势信息。

由于各种传感器精度的差异、平台间协同融合的延迟和电磁干扰等因素的影响, 使得平台对来自多传感器量测的数据进行融合时产生了若干不确定性。对于作战中出现的这种不确定性, 会导致指挥员的判断失误或延迟决策, 以致丧失战机造成灾难性的后果, Dempster-Shafer 证据推理理论(D-S 证据理论)较好地解决了数据融合中出现的这一问题。D-S 证据理论用于多平台协同数据融合有着显著的优点:

- (1) 提高了数据的可信度和量测精度, 改进了传感器的探测性能;
- (2) 扩大了空间探测范围, 提高了空间分辨率;
- (3) 减少了单平台获取目标信息的时间和代价, 改进了单平台对目标的检测和识别;
- (4) 降低了数据融合中不确定性因素的影响, 增强了系统的容错性和互不性。

### 1 D-S 证据理论

D-S 证据理论全称是 Dempster-Shafer 证据推理理论, 由 A.P Dempster 提出, 并由 G.Shafer 进一步发展起来的一种不确定性推理方法。其显著特点是对不确定信息的描述采用“区

间估计”, 在区分不知道和不确定性方面显示了较大的灵活性。

#### 1.1 识别框架

对一个判决问题, 假设能认识到的所有结果用集合  $\Theta$  来表示, 且该问题的每个命题都对应于  $\Theta$  的一个子集, 那么称集合  $\Theta$  为识别框架。

#### 1.2 基本信度分配和信度函数

**定义 1** 设  $\Theta$  为识别框架, 如果集函数  $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$  ( $2^\Theta$  为  $\Theta$  的幂集) 满足:

- (1)  $m(\phi) = 0$ ;
- (2)  $\sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$ 。

则称  $m$  为识别框架  $\Theta$  上的基本信度分配;  $\forall A \subseteq \Theta$ ,  $m(A)$  称为  $A$  的基本信度值。 $m(A)$  反映了对  $A$  本身的信度大小。

**定义 2** 如果  $m$  是一个基本信度分配, 那么下式:

$$\forall A \subseteq \Theta, B \neq \phi, Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$$

所定义的函数  $Bel$  是一个信度函数,  $Bel(A)$  反映了  $A$  上所有子集总的信度。

#### 1.3 似然函数

设  $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$  是  $\Theta$  上的信度函数, 定义  $Dou: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$  和  $Pl: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$  如下:  $\forall A \subseteq \Theta$ ,  $Dou(A) = Bel(\bar{A})$ ,  $Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A})$ , 称  $Pl$  为  $Bel$  的似然函数, 对  $\forall A \subseteq \Theta$ ,  $Pl(A)$  称为  $A$  的似真度, 即描述了  $A$  的似真或可靠的程度。

**基金项目:** 国防预研基金资助项目

**作者简介:** 张晓明(1978 -), 男, 硕士生, 主研方向: 舰艇火控系统, 协同作战; 王航宇, 副教授; 黄 达, 硕士生

**收稿日期:** 2006-08-18 **E-mail:** zczxm@sohu.com

### 1.4 Dempster 合成规则

设基于识别框架  $\Theta$  下的两个信度分配  $m_1, m_2$ ，并分别含有焦元  $A_1, A_2, \dots, A_K$  和  $B_1, B_2, \dots, B_l$ 。它们的合成运算为  $m = m_1 \oplus m_2$ ，其中  $m$  为合成后产生的新的基本信度分配。

$$m(A) = m_1 \oplus m_2(A) = K^{-1} \sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j)$$

$$K = 1 - \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i) m_2(B_j)$$

$K$  表示证据间的矛盾，Dempster 合成规则根据  $K$  值要进行归一化处理。

### 2 D-S 证据理论的应用原理

D-S 证据理论是贝叶斯推理的扩展，由于直观性强，易于描述并能灵活处理未知及等概率方面的问题，因此广泛应用于军事领域的信息融合。在多平台协同数据融合系统中，各平台上的每种传感器所测量的目标信息是局部的、模糊的、甚至可能是矛盾的，包含了大量的不确定性。在协同数据融合中又必须依据这些不确定的信息进行推理，达到对目标身份的识别和属性的判定。这种不确定推理构成了多平台协同数据融合的基础，而 D-S 证据理论就是解决这种不确定性推理方法中的一个典型。

D-S 证据理论用于多平台协同数据融合时，目标的种类就是命题，即作战海域中的飞机、舰船和潜艇等目标就对应于该理论中的命题。编队中各平台上的每种传感器通过对目标的测量，给出目标种类的判定结果就是证据。由各平台上的多种传感器对目标进行测量，并在此基础上给出所关心命题的度量，构成了该理论中的证据。通过利用这些证据构造相应的基本概率分布函数，对所有的命题赋予一个可信度。对于一个基本概率分配函数和相应的识别框架，合称为一个证据体，因此各平台上的每种传感器就相当于一个证据体。多平台协同数据融合的实质就是在同一识别框架下，利用 Dempster 合并规则将各个证据体合并成一个新的证据体，而这个新的证据体就表示了多平台协同融合后得到的信息，然后再根据决策规则进行决策。

### 3 设计思想和结构

D-S 证据理论用于传统的多传感器数据融合系统时，多个证据的结合计算可以用两个证据的结合计算递推得到。而这种方法在多平台协同数据融合系统中也是适用的。根据这种递推算法的思想就可以对多平台协同数据融合系统设计。其设计思想：在多平台协同数据融合中，对各平台上的每种传感器分配初始的基本信度值，每当接到一次传感器的报警信息，就分配一次基本信度值。按照多平台协同融合的机制，利用 Dempster 合成规则得到新的基本信度分配。随着信息的不断传回，再不断地对基本信度分配进行更新。最后，根据决策规则就可得出对命题的判定结果。

基于多平台协同融合的设计思想，结合多平台协同融合的特点，将其分为传感器先同后异和平台逐级融合两种体系。传感器先同后异融合法，是指在多平台协同数据融合中，先对编队中的同种传感器进行融合，然后在编队协同融合中心对所有的异类传感器进行融合，最后依据决策规则得出决策结果。平台逐级融合法，是指在多平台协同数据融合中，先对编队中各平台单独融合，再将各平台融合的结果在编队协同融合中心中进行融合，最后依据决策规则得出决策结果。

根据以上描述，设计了两种基于 D-S 方法的多平台协同数据融合结构。传感器先同后异融合法和平台逐级融合法的结构分别见图 1、图 2 所示。

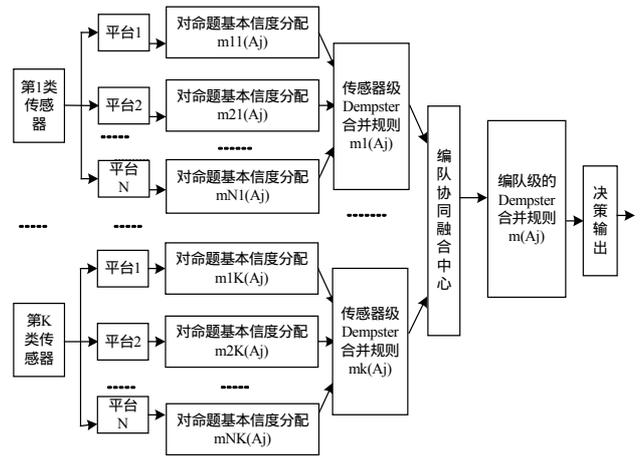


图 1 传感器先同后异融合法

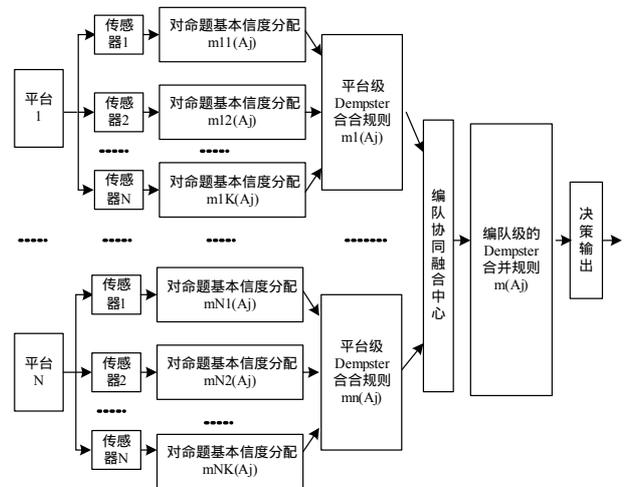


图 2 平台逐级融合法

图 1 和图 2 中  $m_{il}(A_j)$  的下标  $i=0,1,\dots,N$  表示第  $i$  个平台， $l=0,1,\dots,k$  表示第  $l$  种传感器。图 1 中  $m_i(A_j)$  表示第  $i$  种传感器经过协同融合后对命题  $A_j$  的基本信度分配。图 2 中  $m_i(A_j)$  表示第  $i$  个平台融合后对命题  $A_j$  的基本信度分配。 $m(A_j)$  表示多平台协同融合后对命题  $A_j$  总的基本信度分配。

### 4 D-S 方法应用举例

为了验证 D-S 方法在多平台协同数据融合中的有效性，以某战术背景下的海上舰船类型识别为例。假设我方两艘舰艇 A、B 在某海域巡逻，发现敌方超视距目标 C，从其运动速度初步判断或为驱逐舰或为护卫舰。我方战舰遂行迎战，编队协同融合中心设在平台 A 上，平台 B 向平台 A 协同，根据敌方战舰的类型采取相应的打击方案。分别采用单平台的 D-S 方法和图 1 的传感器先同后异的 D-S 方法对敌舰进行识别，并利用 MATLAB 仿真计算得到表 1 结果。

表 1 中 A1、A2 表示平台 A 在无平台 B 参与下独立融合，A'1 和 A'2 表示两个平台在平台 A 上的协同融合。根据信度函数的定义，即  $Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$  可得以下结果：

$$Bel(A1) = 0.5597 ; \quad Bel(A2) = 0.5525 ;$$

$$Bel(A'1) = 0.6931 ; \quad Bel(A'2) = 0.6787 .$$

即平台 A 两次独立融合后对实际目标产生总的信度值为 0.5597、0.5525，经过两平台协同融合后对实际目标产生总

(下转第 246 页)

