

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.03.026

# 多传感器信息融合在航天侦察中的应用

李丹<sup>1</sup>, 于小红<sup>2</sup>

(1. 装备指挥技术学院研究生管理大队, 北京 101416; 2. 装备指挥技术学院试验指挥系, 北京 101416)

**摘要:** 针对从情报信息中提取正确可靠信息时存在的问题, 对多传感器信息融合在航天侦察中的应用进行研究。在阐述多传感器信息融合的基本概念和基于 D-S 证据理论的多传感器信息融合的基础上, 重点分析 D-S 证据理论在多传感器航天侦察信息融合中的应用, 并以实例进行验证。结果表明: 该方法能弥补单一信息的不完整和不确定性, 提高信息的确定性和可靠性。

**关键词:** 多传感器; 信息融合; 航天侦察; D-S 证据理论

**中图分类号:** TJ86 **文献标志码:** A

## Application of Multi-Sensor Information Fusion in Space Reconnaissance

Li Dan<sup>1</sup>, Yu Xiaohong<sup>2</sup>(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China;**2. Dept. of Testing & Command, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China)*

**Abstract:** For obtaining correct and reliable information from the intelligence, the application of the technique of multi-sensor information fusion in space reconnaissance is studied. Firstly, introduce the basic definition of multi-sensor information fusion and multi-sensor information fusion based on D-S theory. Secondly, put emphasis on analyzing the application of the D-S theory in multi-sensor space reconnaissance information fusion. Finally, an example is applied to verify the method. The result indicates the method can make up for a deficiency of half-baked and uncertain single information, improve the reliability and accurateness of the fusion information in space reconnaissance.

**Key words:** multi-sensor; information fusion; space reconnaissance; D-S theory

## 0 引言

航天侦察是指利用各种航天器为平台, 携带侦察设备对地面、空中和空间有价值的目标遂行侦察和监视的军事活动。航天侦察因其具有运行轨道高、侦察范围广、发现目标快、不受国界和地理条件限制等优点, 一跃成为战略情报的主要来源, 且触觉已经伸向战役、战术范围, 成为世界主要军事强国和航天大国竞相发展和进行空间争夺的焦点。然而, 单个天基传感器系统存在着对目标重访周期长、信息获取的实时性差、一旦上天变轨机动困难、敌方可预测其运行规律而采取躲避和隐秘措施等问题, 而且随着空间信息攻防系统技术的发展, 单个天基传感器系统的生存能力将受到威胁<sup>[1]</sup>。因此, 在改进单个天基传感器信息系统的同时, 必须重视发展天基多传感器信息系统, 以满足未来联合作战对情报侦察的能力要求。

航天侦察作为国家战略侦察手段, 在现代侦察监视中占有极其重要的地位, 发挥着巨大的作用。随着航天侦察情报实时性的提高, 其实施战术和战役侦察的能力日益增强, 现代战争对航天侦察的依

赖性日益增强。据统计, 目前航天侦察约占全部侦察手段的 60%~65%。随着航天侦察系统各种传感器和信息量的急剧增大, 情报分析处理工作日益繁重, 从大量的情报信息中提取正确可靠的信息而不遗漏情报中含有的有效信息变得十分困难, 迫切需要信息融合技术的应用和支持。因此, 笔者对多传感器信息融合在航天侦察中的应用进行研究。

## 1 多传感器信息融合概述

### 1.1 多传感器信息融合的概念

多传感器信息融合是对多源信息进行综合处理的一项新技术, 是指对来自多个传感器的信息进行多级别、多方面、多层次的处理和综合, 从而获得更丰富、更精确、更可靠的有用信息, 而这种新信息是任何单一传感器所无法获得的。信息融合的定义<sup>[2]</sup>可概括为: 利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息, 在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。从军事角度看, 信息融合是一个多级、多层面的数据处理过程, 主要完成对来自多个信息源的数据进行自动检测、关联、相关、估计

收稿日期: 2011-09-27; 修回日期: 2011-10-11

作者简介: 李丹(1979—), 女, 吉林人, 博士研究生, 讲师, 从事作战指挥研究。

组合等处理, 从而提高状态与身份估计的精度, 并对战场态势和威胁的重要程度进行适时、完整的评价。其结果表现为在较低级别上对状态和属性的估计和较高层次上对整体态势、威胁的评定。在信息融合技术中, 多传感器是信息融合的硬件基础, 来自多传感器的多源信息是它的加工对象, 对多源信息的协调优化和综合处理是它的核心。

### 1.2 信息融合的算法

信息融合实现的方法主要有经典推理法、参数模板法、Bayes 推理法、Dempster-Shafer 证据理论、专家系统和模糊理论法等。针对航天侦察系统, 在选取目标的联合身份说明时, 可以利用 Bayes 的概率组合与选择原则; 专家系统和模糊理论法主要用于态势和威胁评估; 针对机载、船载等有效载荷辐射源、目标平台的类型或属性的综合识别, 也广泛采用专家系统; 另外, 在平台识别时, 如对预警飞机、舰艇进行识别, 可利用多侦察传感器获取机载或舰载电子设备信息, 目标自身的几何特征、结构与材料信息, 以及目标平台运动信息等, 利用 D-S 证据理论实现目标属性判决与目标类型识别。

## 2 基于 D-S 证据理论的多传感器信息融合

D-S 证据理论是一种不确定推理的推理理论, 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。由于 D-S 证据推理不需要先验概率和条件概率知识, 而且能区分“不确定”、“未知”的差异, 因此, D-S 证据推理法是在决策层数据融合的身份属性判决中被广泛采用的组合证据方法。

### 2.1 基于 D-S 证据理论的数据融合<sup>[3-6]</sup>

**定义 1** 设  $\Theta$  为一识别框架,  $A$  为识别框架里的一个命题, 且领域内的命题可以用  $\Theta$  的子集表示。函数  $M:2^\Theta \rightarrow [0,1]$  满足  $M(\phi)=0$  且  $\sum_{A \subseteq 2^\Theta} M(A)=1$ , 则称  $M$  是  $2^\Theta$  上的基本概率分配函数或基本可信度分配函数,  $M(A)$  称为命题  $A$  的基本可信度分配, 表示对命题  $A$  精确信任的程度。当  $A \subseteq 2^\Theta$  且  $M(A) \neq 0$  时, 称  $A$  为  $M$  的焦点。

**定义 2**  $\Theta$  为一识别框架,  $M:2^\Theta \rightarrow [0,1]$  是  $\Theta$  上的基本概率分配, 命题  $B \subseteq A, A \in \Theta, B \in \Theta$ , 定义  $\Theta$  上的信任函数为:

$$\begin{aligned} Bel:2^\Theta &\rightarrow [0,1] \\ Bel(\Theta) &= 1 \\ Bel(\phi) &= 0 \\ Bel(A) &= \sum_B M(B) = \sum_{B \subseteq A} M(B) \end{aligned} \quad (1)$$

**定义 3** 设有映射  $Pl:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ , 对所有的  $A \in \Theta$ , 有

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \phi} M(B)$$

则  $Pl$  函数为似然函数,  $Pl$  函数也称上限函数, 表示对  $A$  非假的信任程度和似乎可能成立的不确定性度量。

### 2.2 Dempster 组合规则

设  $Bel_1$  和  $Bel_2$  是同一识别框架  $\Theta$  上的 2 个信任函数,  $M_1$  和  $M_2$  分别是其对应的基本可信度分配, 焦点分别为  $A_1, A_2, \dots, A_k$  和  $B_1, B_2, \dots, B_l$ , 那么, 由下式定义的函数  $M:2^\Theta \rightarrow [0,1]$  是基本可信度分配

$$M(C) = \begin{cases} 0, A = \phi \\ \frac{\sum_{A_i \cap B_j = C} M_1(A_i)M_2(B_j)}{1 - K}, A \neq \phi \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $K = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} M_1(A_i)M_2(B_j) < 1$ 。

在式 (2) 中, 若  $K \neq 1$ , 则  $M$  确定一个基本可信度分配; 对于多个证据的组合, 可采用上面给出的组合规则对证据进行两两综合。但是, 若  $K = 1$ , 则认为  $M_1, M_2$  矛盾, 不能对基本可信度分配进行组合。  $K$  越大, 证据之间的冲突越激烈, 矛盾就越明显, 合成公式将会产生有悖常理的结果。目前存在 2 类解决冲突证据组合问题的方法: 一是基于修改 D-S 证据组合规则的方法, 主要解决如何重新分配和管理证据中冲突的问题; 二是基于修改原始证据源的方法, 即在组合证据前先对冲突证据进行预处理。针对航天侦察目标识别问题, 笔者采用文献 [7] 提出的方法, 即为了解决冲突证据问题, 考虑修改各个命题的分配方法, 采取将支持证据冲突的概率按照各命题在所有命题中所占的比重进行分配。改进的证据组合公式如下:

$$\begin{aligned} M(\phi) &= 0 \\ M(C) &= \sum_{A_i \cap B_j = C} M_1(A_i)M_2(B_j) + Kq(C) \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $K = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} M_1(A_i)M_2(B_j)$ ;  $q(C) = \frac{\sum_{1 \leq i \leq n} M_i(C)}{\sum_{1 \leq j \leq n} \sum_{\substack{A_i \subseteq 2^\Theta \\ A_i \neq \phi}} M_j(A_i)}$ 。

### 3 基于 D-S 证据理论的多传感器信息融合

#### 3.1 应用方法

将基于 D-S 证据理论应用于航天侦察系统的目标识别中, 首先将各传感器采集到的信息作为证据, 每个传感器提供一组命题, 对应决策  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , 并建立一个相应的可信度函数。多传感器信息融合过程实质上就成为在同一识别框架下, 将不同的证据体合并成一个新的证据体的过程。产生的新证据体表示融合后所得的信息, 再按决策规则进行决策。

假设在敌某地区内可能有具有空中优势的战斗机、多用途或地面攻击飞机、轰炸机、电子战或空中预警飞机、其他飞行器(如直升机、无人驾驶飞机、导弹以及未知飞行器), 分别用  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  和  $A_5$  表示, 即识别框架  $\Theta = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ , 航天侦察系统使用雷达传感器 SAR、红外传感器 IR 和光电传感器 EO 对飞机进行识别, 得到有关目标属性的模拟数据, 由射频 RF、脉宽 PW、IR 及光电设备确定的基本概率赋值如表 1 所示, 其中  $M_{RF}(\cdot)$  和  $M_{PW}(\cdot)$  由雷达传感器 SAR 确定,  $\varphi = (\varphi_{RF}, \varphi_{PW}, \varphi_{IR}, \varphi_{EO}) = (0.13, 0.15, 0.25, 0.2)$  则是因测量误差和噪声等原因引起的不确定性。

表 1 由 4 种传感器确定的基本概率赋值

合成概率	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$\varphi$
$M_{RF}(\cdot)$	0.20	0.4	0.1	0.17	0	0.13
$M_{IR}(\cdot)$	0.25	0.3	0	0.20	0	0.25
$M_{PW}(\cdot)$	0.45	0.1	0.2	0.10	0	0.15
$M_{EO}(\cdot)$	0.40	0.4	0	0	0	0.20

按上述方法将证据两两组合得到融合后的基本概率如表 2 所示, 其中  $M_{SAR}(\cdot)$ 、 $M_{SAR-IR}(\cdot)$  和  $M_{SAR-IR-EO}(\cdot)$ , 分别表示雷达传感器 SAR 目标识别的基本概率赋值、SAR 和 IR 证据融合后的基本概率以及把 SAR、IR 和 EO 3 个传感器融合后的基本概率。

通过融合不确定性的基本概率赋值函数下降到 0.01。采用基于基本概率赋值的决策方法, 选择

阈值  $\varepsilon = 0.1$ , 则最终的策结果是  $A_1$ , 即目标时空中优势的战斗机。根据所得到的数据可以看出, 通过将各个传感器的数据进行融合后, 得到的数据比单个传感器的判决结果要更准确。同时, 也说明了 D-S 证据理论在航天侦察的多传感器信息融合中应用的有效性和容错性。

表 2 融合结果

合成概率	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$\varphi$
$M_{SAR}(\cdot)$	0.43	0.27	0.15	0.13	0	0.05
$M_{SAR-IR}(\cdot)$	0.46	0.33	0.08	0.14	0	0.03
$M_{SAR-IR-EO}(\cdot)$	0.55	0.40	0.03	0.05	0	0.01

### 4 结束语

为了满足现代战争对情报获取的要求, 将多传感器信息融合技术应用于航天侦察系统中, 充分利用多类、多源和多平台传感器获取信息的互补性和冗余性, 弥补单一信息的不完整和不确定性, 提高信息的确定性和可靠性, 对夺取战争信息优势, 及时掌握战场态势, 支持武器有效与精确打击将起到重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 孙义明, 杨丽萍. 信息化战争中的战术数据链[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005: 207-209.
- [2] 何友. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 1.
- [3] Yong Wang, Huihua Yang, Xingyu Wang, et al. Distributed Intrusion Detection System Based on Data Fusion Method[C]. Hangzhou: proceedings of the 5th world congress on intelligent control and automation, 2004: 4331-4332.
- [4] 李向莉, 吕建平. D-S证据理论在多传感器信息融合中的改进[J]. 现代电子技术, 2005, 28(16): 16-18.
- [5] 杨海峰, 侯朝桢. 证据理论组合公式的分析与改进[J]. 计算机工程, 2005, 31(7): 21-23.
- [6] 康耀红. 数据融合理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997: 141-143.
- [7] 梁旭荣, 姚佩阳, 梁德磊. 改进的证据组合规则及其在融合目标识别中的应用[J]. 电光与控制, 2008, 15(12): 37-40.