

# 多传感器信息融合技术在侦察系统中的应用

## The Technique of Multisensor Information Fusion and Its Application in Reconnaissance System

刘朝阳,蔡自兴

Liu Zhaoyang, Cai Zixing

(中南大学信息科学与工程学院智能研究所,湖南长沙 410083)

(Institute of Intelligence, College of Info. Sci. & Engi., Central South Univ., Changsha, Hunan, 410083, China)

**摘要:**分别阐述信息融合的基本概念和多传感器侦察系统中信息融合的模型设计,重点分析 Dempster-Shafer 证据推理理论在多传感器侦察系统信息融合中的应用。

**关键词:**信息融合 多传感器 侦察系统 D-S 理论

**中图分类号:**TP212

**Abstract:** The basal definition of information fusion and its model design in multisensor reconnaissance system are introduced. The application of the Dempster-Shafer theory in information fusion of multisensor reconnaissance system is discussed.

**Key words:** information fusion, multisensor, reconnaissance system, Dempster-Shafer theory

现代科学技术在军事领域的广泛应用,使得现代战争突破了传统模式,发展成为陆、海、空、天、电磁五位一体的立体战争。在现代战术侦察系统中,依靠单一的传感器提供信息已无法满足作战需要,必须运用多传感器提供观测信息,实时进行目标发现、优化综合处理来获得状态估计、目标属性、态势评估、威胁估计等作战信息。多传感器侦察的实现方式有信息集成和信息融合。多传感器集成是多传感器一体化的初级阶段,其基本特征是通过不同频段的多种传感器的“叠加”,实现性能和功能的“互补”。多传感器集成虽然实现了结构上的一体化以及性能和功能上的互补,但信息的综合利用程度较低,特别是冗余信息几乎未被利用,因此层次比较低。而在多传感器侦察系统中使用信息融合技术,不仅使系统组合的结构更加合理,而且综合利用多种传感器信息的互补性和冗余性,提高信息的确定性和可靠性,提高低可视性目标的探测和识别能力,有助于提高决策的实时性和准确性,同时也有利于降低系统的成本,它是今后实现多传感器侦察的必然的技术趋势。

### 1 信息融合的基本概念

信息融合又称数据融合,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、多层次的处理与综合,从而获得更丰富、更精确、更可靠的有用信息。信息融合比较确切的定义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<sup>[1]</sup>。从军事角度讲,信息融合可定义为:对来自多源的数据和信息进行检测、互联、相关、估计和综合等多层次、多方面的处理,以获得准确的状态和身份估计,完整而及时的战场态势和威胁估计<sup>[2]</sup>。

在信息融合技术中,多传感器是它的硬件基础,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,是它的核心功能。不论从哪个定义上说,数据融合都应具有以下本质特征:多传感器输入,多信息输入,准确有效的合成规则,单一表示形式的结果。

### 2 多传感器侦察系统中信息融合的模型设计

多传感器信息融合的关键问题之一是模型设计。信息融合模型主要包括功能模型、结构模型和数学模型。功能模型从融合过程出发,描述信息融合包括哪些主要功能、数据库以及进行信息融合时系统

各组成之间的相互作用过程;结构模型从信息融合的组成出发,说明信息融合系统的软硬件组成、相关数据流、融合层次及顺序、系统与外部环境的人机界面等;数学模型则是信息融合的算法和综合逻辑。要设计信息融合模型必须综合考虑应用领域、融合的目的和目标、传感器类型、传感器的布置以及融合的级别等因素。

### 2.1 多传感器侦察系统中信息融合的结构模型

战术侦察系统信息融合的结构模型一般有3种基本形式:集中式、分布式和分级式结构,由这3种基本结构构成多种不同的混合结构,集中式融合结构和分布式融合结构是2种常用的融合结构<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.1 集中式多传感器信息融合

集中式多传感器系统的所有传感器的地理配置位置相近,通过通讯网络或其它机构将原始信息传输到融合中心,由中央处理设施统一处理。集中式融合结构简单,精度高,但它只有当接受来自所有的传感器信息后,才对信息进行融合。所以,通信负担重,融合速度慢。

#### 2.1.2 分散式多传感器信息融合

如果多个传感器安放的位置比较分散,用一个融合中心进行信息处理容易产生信息传输错误,融合中心信息处理量增大等问题。为提高系统的检测能力和可靠性,防止干扰,采用分散式多传感器信息融合。融合中心依据各局部检测器的决策,并考虑各传感器的置信度,然后在一定准则下进行分析综合,做出最后的决策。在分散式多传感器信息融合系统中,每个节点都有自己的处理单元,不必维护较大的集中数据库,都可以对系统作出自己的决策,融合速度快,通信负担轻,不会因为某个传感器的失效而影响整个系统正常工作。所以,它的具有较高的可靠性和容错性,但由于信息压缩导致信息丢失,因而会影响融合精度。

#### 2.1.3 分级式多传感器信息融合

分级式多传感器信息融合又分为有反馈结构和无反馈结构。在分级融合中,信息从低层到高层逐层参与处理,高层节点接收低层节点的融合结果,在有反馈时,高层信息也参与低层节点的融合处理。分级融合结构各传感器之间是一种层间有限联系,其计算和通信负担介于集中式结构和分散式结构之间。

### 2.2 多传感器侦察系统中信息融合的级别层次

对于多传感器侦察系统,信息融合一般可分为3个层次,即数据级融合、特征级融合和决策级融合<sup>[4~6]</sup>,如图1所示。

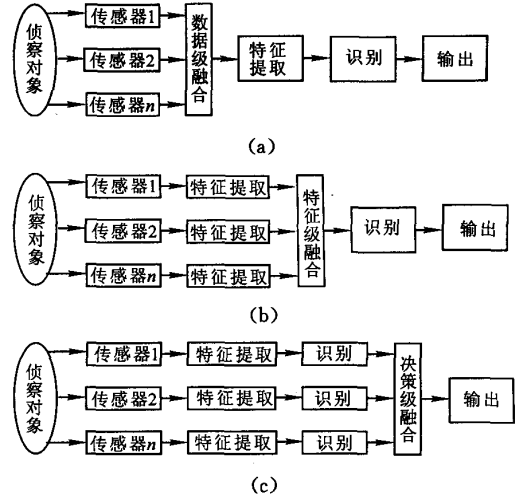


图1 多传感器信息融合的层次

(a)数据级融合;(b)特征级融合;(c)决策级融合

#### 2.2.1 数据级融合

数据级融合又称像素级融合,它是最低层次的融合,是在采集到的传感器的原始信息层次上(未经处理或只做很小的处理)进行融合,在各种传感器的原始测报信息未经预处理之前就进行信息的综合和分析。其优点是保持了尽可能多的战场信息。其缺点是处理的信息量大,所需时间长,实时性差。这种融合通常用于:多源图像复合、图像分析和理解;同类(同质)雷达波形的直接合成以改善雷达信号处理的性能。

#### 2.2.2 特征级融合

特征级融合属于融合的中间层次,兼顾了数据层和决策层的优点。它利用从传感器的原始信息中提取的特征信息进行综合分析和处理。也就是说,每种传感器提供从观测数据中提取的有代表性的特征,这些特征融合成单一的特征向量,然后运用模式识别的方法进行处理。这种方法对通信带宽的要求较低,但由于数据的丢失使其准确性有所下降。

#### 2.2.3 决策级融合

决策级融合是指在每个传感器对目标做出识别后,将多个传感器的识别结果进行融合。这一层融合是在高层次上进行的,融合的结果为指挥控制决策提供依据。决策层融合的优点是:具有很高的灵活性,系统对信息传输带宽要求较低;能有效地融合反映环境或目标各个侧面的不同类型信息,具有很强的容错性;通信容量小,抗干扰能力强;对传感器的依赖性小,传感器可以是异质的;融合中心处理代价低。

### 2.3 多传感器侦察系统中信息融合技术的实现方法

在多传感器侦察系统中,信息融合实现的方法主要有一致性融合、基于知识的系统(KBS)、数据关联技术和位置估值法。

一致性融合包括模板法、经典贝叶斯准则<sup>[7]</sup>和 Dempster-Shafer(D-S)证据推理理论<sup>[8,9]</sup>、聚类分析等。KBS法包括专家系统和模糊理论<sup>[10]</sup>,主要用于态势和威胁评估。数据关联技术包括品质因数法(FOM)和选通技术。位置估值法主要有:最近邻域法、多元假设法、概率数据互联法、联合概率数互联法、最大似然估计法、卡尔曼滤波法等。

数据关联技术和位置估值法主要用于一级融合系统。此外模式识别融合方法也有一定的应用。尽管新的或改进的融合方法在不断涌现,但总的说来,多传感器信息融合方法无论是在理论上还是在工程实现上都有不少问题有待研究。本文就在侦察系统中如何利用D-S证据理论进行决策级融合的问题作具体分析。

### 3 D-S证据理论应用于信息融合的相关概念

证据理论是由 Dempster 于 1967 年提出的,后由 Shafer 加以扩充和发展,所以称为 D-S 证据理论。该理论在概率的基础上对概率论的概念进行了扩展,把概率论中的事件扩展成命题,把事件的集合扩展成命题的集合,并提出基础概率分配、信任函数和似然函数(合理性函数)的概念,建立命题和集合之间的一一对应关系,从而把命题的不确定性问题转化为集合的不确定性问题,D-S 理论处理的正是这一不确定性问题。

#### 3.1 识别框架

设有一判决问题,对于该问题所能认识到的所有可能的结果的集合用  $\Theta$  表示,那么,所关心的任一命题都对应于  $\Theta$  的一个子集,称  $\Theta$  为识别框架。

#### 3.2 基本可信度分配

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  $M(\varphi) = 0$  且  $\sum_{A \subseteq \Theta} M(A) = 1$ ,则称  $M$  是  $2^\Theta$  上的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。

#### 3.3 命题的信任函数

设  $\Theta$  为一识别框架, $M:2^\Theta \rightarrow [0,1]$  是  $\Theta$  上的基

础概率分配,命题  $B \subseteq A, A \in \Theta, B \in \Theta$ ,定义函数  $Bel:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ ,

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} M(B) = \sum_{B \subseteq A} M(B), \quad (1)$$

则称该函数是  $\Theta$  上的信任函数。

#### 3.4 命题的似然函数

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

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \mid A \neq \varphi} M(B),$$

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,表示对  $A$  似乎可能成立的不确定性度量。

#### 3.5 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  $A_1, \dots, A_k$  和  $B_1, \dots, B_l$ ,

那么,由下式定义的函数  $M:2^\Theta \rightarrow [0,1]$  是基本可信度分配

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

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

在(2)式,若  $K \neq 1$ ,则  $M$  确定一个基本可信度分配;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。对于多个证据的组合,可采用以上给出的组合规则对证据进行两两综合。

在 Dempster 组合规则中,为了保证对各命题的总相信为 1,最后将各命题的融合可信度分除以  $(1 - K)$ ,从而得出其归一化结果。而在多证据源的组合过程中,每一次信息联合都要有归一化的计算,显然,中间联合过程中的归一化会给计算带来不便。但从 Dempster 组合规则来看,归一化的计算仅仅是为了满足对结果概率解释的需要,各可信度分配值的相对比例关系并未因归一化过程而改变。因此,从理论上讲,取消各中间联合过程中的归一化计算,只对最后结果进行归一化处理,不但不会改变融合判决结果,而且可以大大减少计算量,由此可以得出 Dempster 组合的扩展形式。

设命题  $A = A_1 A_2 \dots A_n = I A_p, A_p$  为命题; $p = 1, 2, \dots, n_0; Bel_1, \dots, Bel_n$  是同一识别框架  $\Theta$  上的信任度函数, $M_1, \dots, M_n$  是对应的基本可信度分配,如果  $Bel_1 \oplus \wedge \oplus Bel_n$  存在,且基本可信度分配为  $M$ ,则

当  $A \subset \Theta, A \neq \varphi$  时,

$$M(A) = \frac{1}{1 - K} \sum_{I_{A_p=A_i}} \prod_{1 \leq i \leq n} M_i(A_i), \quad (3)$$

式中  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$$K = \sum_{I_{A_p=\varphi}} \prod_{1 \leq i \leq n} M_i(A_i). \quad (4)$$

#### 4 基于 D-S 证据理论的多传感器信息融合

D-S 理论用于多传感器信息融合时,由各传感器获得信息,并由此产生对某些命题的度量,构成了该理论中的证据,并利用这些证据通过构造相应的基本概率分布函数,对所有的命题(包括识别框架)赋予一个可信度.对于一个基本概率分布函数以及相应的识别框架,合称之为一个证据体,而多传感器信息融合的实质就是在同一个识别框架下,利用 Dempster 合并规则将不同证据体的基本可信度分配并产生一个总体基本可信度分配,而产生的新证据体表示了融合所得的信息,然后根据决策规则进行决策.

在多传感器侦察系统中,为了确保信息的准确可靠,各传感器通常要对侦察目标进行多个周期的测量,并对多周期测量结果进行融合分析,从而获得该传感器比较精确的可信度分配,然后再交融合中心进行融合处理.融合布局与结构如图 2 所示.可分两步进行计算:

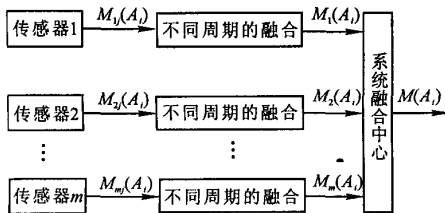


图 2 多传感器侦察系统融合布局与结构

(1) 计算单个传感器的可信度分配,

$$M_i(A_i) = \frac{1}{1 - k_s} \sum_{I_{A_p=A_i}} \prod_{1 \leq j \leq n} M_{s_j}(A_j) = \frac{1}{1 - k_s} \sum_{j=1}^n \left\{ \left[ \prod_{l=0}^{j-1} u_{sl} \right] \cdot [M_{s_j}(A_j)] \cdot \left[ \prod_{l=j+i}^n (M_{sl}(A_i) + u_{sl}) \right] \right\}, \quad (5)$$

式中,  $i = 1, 2, \dots, q; p = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n$ ;  
 $k_s = \sum_{I_{A_p=\varphi}} \prod_{1 \leq j \leq n} M_{s_j}(A_j)$ ;

(2) 将  $m$  个传感器看作一个传感器系统,则有

$$M(A_i) = \frac{1}{1 - k} \sum_{I_{A_p=A_i}} \prod_{1 \leq i \leq m} M_s(A_i), A_i \subset \Theta, \quad (6)$$

式中,  $i = 1, 2, \dots, q; p = 1, 2, \dots, q; s = 1, 2, \dots, m$ ;  
 $k = \sum_{I_{A_p=\varphi}} \prod_{1 \leq i \leq m} M_s(A_i)$ .

#### 5 应用实例

设战场某地区可能有 10 种装甲目标,分为 4 种类型:重型坦克、中型坦克、轻型坦克、装甲救护车;3 个识别属性:敌、我、不明. 侦察设备:侦察雷达、无人侦察机、微光电视. 在受外界干扰的情况下,对某目标进行 2 个周期的测量,获得对相对命题的可信度分配的数据如表 1 所示.

根据式(5),分别对 3 个传感器进行不同测量周期的融合计算,可得各传感器不同测量周期融合后的可度分配,如表 2 所示.

在此基础上,利用式(6)对整个系统进行融合计算,可得出融合系统中各个目标属性的可信度分配数据,如表 3 所示.

表 1 2 个周期对相应命题的可信度分配的数据

传感器	属性	$M_1$	$M_2$
侦察雷达	重型坦克	0.4	0.5
	装甲救护车	0.3	0.3
	不明目标	0.3	0.2
无人侦察机	敌重型坦克 1	0.3	0.4
	敌重型坦克 2	0.4	0.4
	我重型坦克	0.2	0.1
	不明目标	0.1	0.1
微光电视	敌坦克	0.3	0.4
	不明目标	0.7	0.6

表 2 各传感器融合后的可信度分配数据

传感器	属性	$M$
侦察雷达	重型坦克	0.58904
	装甲救护车	0.32877
	不明目标	0.08219
无人侦察机	敌重型坦克 1	0.38775
	敌重型坦克 2	0.48980
	我重型坦克	0.10204
	不明目标	0.02041
微光电视	敌坦克	0.58
	不明目标	0.42

表 3 整个系统融合后的可信度分配数据

属性	$M$
重型坦克	0.00755
装甲救护车	0.00421
敌重型坦克 1	0.38894
敌重型坦克 2	0.49130
我重型坦克	0.04299
敌坦克	0.00145
不明目标	0.00105

根据目标识别的决策规则,由表 1~3 的数据得出最终的判定结果.从最后的结果看,通过信息融合

后,所得到的数据较各传感器分别决策的结果要精确得多.说明了D-S证据理论在侦察系统在进行目标识别的信息融合中应用的有效性和容错性.

## 6 结束语

随着战场环境日趋复杂和多传感器侦察到的数据量猛增,多传感器侦察系统采用信息融合处理已勿容置疑.然而,在目前的侦察系统中,信息融合的层次还比较低,融合的方法手段比较简单,对于收集和现代条件下的战场信息已显得不足,必须采用更高级的融合处理,以便在复杂、多变和存在许多不确定因素的情况下,获得有关威胁目标的精确位置、属性估计,以及对战场态势和威胁等级进行适时而完整的评价.一方面,要逐步提要融合的层次.不仅要使信息融合的等级由常用的像素级向更高一级的特性级和决策级融合发展,同时还需建立一个统一的、具有普遍意义的、能够包括各个层次和各个步骤的框架模型.另一方面,要不断改进融合的方法和技术.比如,如何利用人工智能技术,通过对威胁目标数据的优化数据库检索以及从背景噪声、假目标和干扰信号中分离出实际目标的方法;如何开发融合处理用的数据和知识库、新型有效检索机制和分布式多媒体数据库管理,还能够对数据趋势、敌方企图和任务目标进行推理,以便在涉及模糊数据时使数据搜集和资源分配获得最佳化推理系统和以模型为基础的自动目标识别(ATR)算法等.这些都是提

高侦察系统融合性能需要研究解决的问题.

### 参考文献:

- 1 涂小强.信息融合的原理与方法概述.电讯技术,1999,3:1~6.
- 2 王洪锋,单甘霖,夏明飞.地面防空C3I系统中的多传感器信息融合.仪器仪表学报,2001,22(4增刊):292~293,296.
- 3 孙涛,张宏建.目标识别中的信息融合技术.自动化仪表,2002,22(2):1~3.
- 4 何友,王国宏,等.多传感器信息融合及应用.北京:电子工业出版社,2000.
- 5 王耀南,李树涛.多传感器信息融合及其应用综述.控制与决策,2001,16(5):518~521.
- 6 Shreenath S, Alouani A T. A multisensor tracking system with an image-based maneuver detector. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1996, 32(1):167~181.
- 7 王忆锋,张海联,李茜.多传感器数据融合技术.红外技术,1997,19(2):34~36.
- 8 Mitchell R A, Westerkamp J J. Robust statistical feature based aircraft identification. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1999, 35(3):1077~1093.
- 9 孟章荣.军事应用中的多源信息融合技术.现代防御技术,2001,29(2):27~30.
- 10 Russo F, Ramponi G. Fuzzy methods for multisensor data fusion. IEEE Trans on Instrum Meas, 1994, 43(2):288~294.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第249页)

需进行的重复跟踪、共线和共圆的判断和连接,简化矢量化过程,可使直线和圆的识别速度和精度有较大的提高.今后将研究像素搜索过程使用惯性跟踪的原则,优先在同方向作连续跟踪,增大获取工程图中种子线段的概率,从而提高获取种子线段的效率.

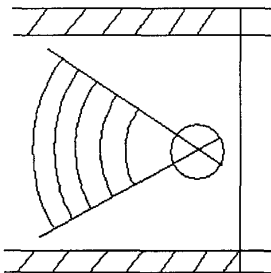


图5 识别图

### 参考文献:

- 1 沈怡,蔡士杰,高晓.建筑工程图符号的特征匹配识别方法.计算机辅助设计与图形学报,2003,15(9):1065~1069.

- 2 王德英,李新友,唐泽圣,等.图纸图像上线条的交互拾取.计算机学报,1997,20(10):925~932.
- 3 Vijay Nagasamy, Noshir A Langrana. Engineering drawing processing and vectorization system. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990, 65:379~397.
- 4 叶海建,李明四.工程图纸向CAD系统自动输入处理.计算机工程与应用,2003,39(33):138~140.
- 5 Dov Dori. Vector-based arc segmentation in the machine drawing understanding system environment. IEEE Transactions on Pattern and Machine Intelligence, 1995, 17(11):1057~1068.
- 6 Han C C, Fan K C. Skeleton generation of engineering drawings via contour matching. Pattern Recognition, 1994, 27(2):261~275.
- 7 张显全.一种工程图中圆整体识别方法.计算机科学,2003,30(7):180~184.

(责任编辑:黎贞崇)