

# 基于D-S理论的目标识别

曹鹏, 唐晓兵, 贺正洪  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**利用目标回波所提供的信息,在D-S理论的基础上,综合利用各种目标识别方法进行目标识别,在很大程度上提高了目标识别率及识别结果的可信度,且有更好的目标分类效果。

**关键词:**雷达目标识别;雷达一维距离像;D-S理论

**中图分类号:**TN959.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)03-0042-04

目标的雷达散射波性质通常不同于入射波的特性。他作为一个散射变换算子,将入射波参数空间映射到散射波空间。散射波与入射波在幅度特性、相位特性、频率特性及极化特性等方面有些差异。在此基础上,发展起许多不同的目标识别技术,如利用目标回波强度及其起伏特性识别目标;利用目标回波调制谱特性识别目标;利用目标极化特征识别目标;高分辨率雷达识别目标和利用目标的机动性能、雷达截面积识别目标等等<sup>[1]</sup>。这些目标识别方法都只是用了目标回波提供的部分信息,从不同侧面对目标进行分类,因而识别率和分类效果都不理想。

## 1 D-S理论基础

D-S理论,又名证据理论(Evidence Theory),其基础是概率空间公理系统。该理论引入信任函数、似然函数及类概率函数等来分别描述命题的精确信任度、不可驳斥的信任度及估计信任度,从而使D-S理论不仅能从不同角度刻画命题的不确定性,还能处理由于“不知道”而引起的不确定性,即他既能将未知事件明白的表示出来,也能描述事件及其补,使其主观概率之和为1,因而克服了纯概率论模型对“不知道”处理的不合理性。下面介绍D-S理论的基本概念和方法:

(1)辨识框:

辨识框是所考察的问题涉及到的所有事件的集合,记作U。

(2)基本概率分配函数:

定义:给定辨识框U,设函数 $m:2^U \rightarrow [0,1]$ ,且满足如下公式:

$$m(A) \geq 0, \forall A \in 2^U, \quad (1)$$

$$m(\Phi) = 0, \quad (2)$$

$$\sum_{A \subseteq U} m(A) = 1 \quad (3)$$

则m称为 $2^U$ 上的概率分配函数m(A)称为A的基本概率函数。

(3)信任函数Bel:

定义:给定辨识框U,设函数 $Bel:2^U \rightarrow [0,1]$ ,且满足

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \forall A \subseteq U, B \subseteq U \quad (4)$$

则称Bel(A)为A的信任函数,它表示对命题A的精确信任度。

(4)似然函数pl:

定义:给定辨识框U,设函数 $pl:2^U \rightarrow [0,1]$ ,且满足

$$pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) \tag{5}$$

$pl(A)$  则表示不能怀疑  $A$  的程度, 即关于命题  $A$  的不可驳斥的信任度。

(5) 证据及其不确定性描述:

用以上定义的概念, 可用  $pl(A)$ 、 $Bel(A)$  来分别刻画对所指的信任度的上下限, 如此二元组  $[Bel(A), pl(A)]$  来描述命题的不确定性, 称之为  $A$  的信任区间, 其中,  $\{pl(A) - Bel(A)\}$  则表示对  $A$  的不知道程度, 如图 1 所示。

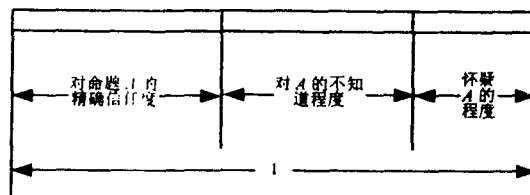


图 1 证据的不确定性描述

(6) 知识及其不确定性描述:

设有规则:  $A \rightarrow B$ , 用其概率分配函数  $m$  来描述它的不确定性。

(7) 更新命题不确定性值的方法:

设有规则:  $A \rightarrow B$ , 规则的概率分配函数  $m$ , 前提  $A$  的信任区间:  $[Bel(A), pl(A)]$ , 则

$$m^*(B) = Bel(A)m(B) \tag{6}$$

设有多个相互独立的基本概率分配函数  $m_i, i=1, 2, \dots, n (n \geq 2)$ , 则其正交和为:

$$\begin{cases} m(\Phi) = 0 \\ m(c) = \frac{\sum_{\substack{A_i \subseteq c \\ \bigcap_{i=1}^n A_i = c}} \prod_{i=1}^n m_i(A_i)}{\sum_{\substack{A_i \subseteq \Phi \\ \bigcap_{i=1}^n A_i = \Phi}} \prod_{i=1}^n m_i(A_i)} \end{cases} \tag{7}$$

## 2 D-S 理论在目标识别中的应用

在基于 D-S 理论的目标识别中, 目标回波信息可以划分为多个辨识框  $\{U_i\} (i=1, 2, \dots, n)$ , 使各  $U_i$  内元素满足互斥条件; 专家给出定义在各辨识框上的概率分配函数, 由公式(4)计算可信度; 如图 2 所示, 他以多种目标识别方法作为规则, 分别求出  $m_i^* (i=1, 2, \dots, n)$ ; 运用 D-S 证据组合方法(公式 7), 求  $t$  时刻综合概率分配函数:

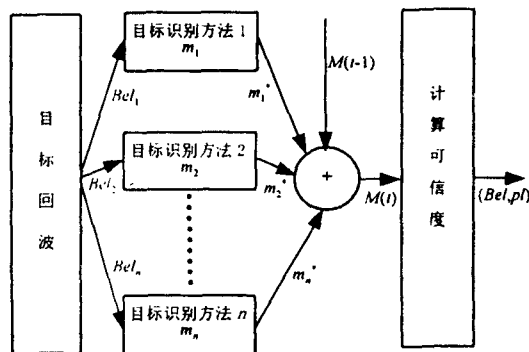


图 2 基于 D-S 理论的目标识别结构框图

$$M(t) = m_1^* \oplus m_2^* \oplus \dots \oplus m_n^* \oplus M(t-1) \tag{8}$$

(其中  $m_i^*$  为  $t$  时刻方法  $i$  输出,  $M(t-1)$  为  $t-1$  时刻综合概率分配函数) 根据公式(4)、(5), 用综合概率分配函数  $M(t)$  计算  $t$  时刻信任函数  $Bel$  和似然函数  $pl$ , 给出综合评判结果。此处即可选最大信任度的结果进行输出, 也可设一个门限, 当信任度函数达到这一门限值, 输出结果, 否则继续观察。

## 3 系统规则

基于 D-S 理论的目标识别系统利用了多种目标识别方法, 下面介绍几种系统规则:

### 3.1 基于雷达目标一维距离像识别目标的规则

雷达首先产生一个与发射信号斜率相同的线性调频参考信号, 参考信号与回波信号进行全去斜率混频。对点目标来说, 混频输出信号频率与目标回波时延(和目标径向距离)成正比, 所以对于在径向上有多个散射点分布的目标回波, 混频器输出频率各不相同。对其进行频谱分析, 便可得到目标一维距离像。

高分辨的雷达目标一维距离像反映了目标精密的几何形状结构特征, 可以提供识别所需的特征信息。但由于一维距离像是一散设点分布模型为依据的, 具有很强的视角依赖性。在不同视角下, 同一目标具有完全不同的一维距离像; 而不同目标在不同视角下, 又有可能具有近似相同的距离像。所以对目标识别时, 要对其

各个姿态下的一维距离像进行匹配<sup>[4]</sup>。

本文仅考虑飞行姿态和高低角对雷达目标一维距离像的影响。设雷达目标一维距离像为:

$$y = f(x, \gamma, \epsilon) \quad (9)$$

其中  $\gamma$  为水平姿态角(水平姿态角定义为雷达视线与飞机轴线——从机头到机尾——之间的夹角),  $\epsilon$  为高低角。

一般, 飞机在飞行中高低角变化不大, 设其在一个很小的区间  $[\epsilon - \Delta\epsilon, \epsilon + \Delta\epsilon]$  上变化, 其中  $\Delta\epsilon > 0$ , 则  $f(x, \gamma, \theta)$  的上下限为:

$$f_{\min}(x, \gamma) = \min\{f(x, \gamma, \alpha)\}_{\alpha \in [\epsilon - \Delta\epsilon, \epsilon + \Delta\epsilon]} \quad (10)$$

$$f_{\max}(x, \gamma) = \max\{f(x, \gamma, \alpha)\}_{\alpha \in [\epsilon - \Delta\epsilon, \epsilon + \Delta\epsilon]} \quad (11)$$

对  $f_{\min}$  和  $f_{\max}$  进行三级小波滤波, 得  $f_{\min}^*$  和  $f_{\max}^*$ 。滤波后的数据为原始数据的  $1/64$ , 且特征更突出。

定义: 目标识别空间  $V$  满足:

$$f_{\min}^*(x, \gamma) \leq V(x, \gamma) \leq f_{\max}^*(x, \gamma) \quad (12)$$

(1) 目标分类方法:

定义:  $a$  类目标与  $b$  类目标的可分性测度为:

$$J_{a,b} = 1 - \frac{V_a \cap V_b}{\min(V_a, V_b)} \quad (13)$$

$J_{a,b}$  越大, 表示  $a$  类和  $b$  类间的可分性愈好, 反之  $a$  类和  $b$  类间的可分性越差。当  $J_{a,b} = 1$  时,  $a$  类和  $b$  类是完全可分的; 当  $J_{a,b} = 0$  时,  $a$  类和  $b$  类是相互包含关系。设定两个门限  $c, d$  ( $d < c < 1$ ), 当  $J_{a,b}$  大于门限  $c$  时, 把  $a$  类和  $b$  类看作是可分的; 当  $J_{a,b}$  小于门限  $c$  而大于门限  $d$  时, 把  $a$  类和  $b$  类看作是不可分的, 将两类合并为一类, 其归并后的上下限为:

$$\begin{cases} f_{\min}^* = \min(a_{\min}, b_{\min}) \\ f_{\max}^* = \max(a_{\max}, b_{\max}) \end{cases} \quad (14)$$

当  $J_{a,b}$  小于门限  $d$  时, 把  $a$  类和  $b$  类看作是相互包含关系, 所以保留目标识别空间小的类, 并将类  $a, b$  归并到目标识别空间大的类中, 其归并后的上下限同上(公式 14)。

其中  $a_{\min}, a_{\max}, b_{\min}, b_{\max}$  分别为  $a$  类和  $b$  类一维距离像经过三级小波变换后函数的上下限。

(2) 基于概率分配函数  $m$  的计算:

假设测得目标的一维距离像为:

$$y = f(x) \quad (15)$$

由于目标的姿态角是无法测得的, 所以要和类库中每一个姿态角的一维距离像进行匹配。假设其姿态角是最小匹配距离所对应的姿态角, 将测得目标的一维距离像扩展到三维坐标上, 得:

$$g(x, \gamma) = f(x) \quad (16)$$

对  $g(x, \gamma)$  进行三级二维小波滤波, 得  $g^*(x, \gamma)$ 。目标的匹配距离为:

$$d_a(\gamma) = \left[ \int_{x=-\infty}^{+\infty} \delta_a^2(x, \gamma) dx \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$\sigma_a(x, \gamma) = \begin{cases} g^*(x, \gamma) - a_{\max}(x, \gamma), & g^*(x, \gamma) > a_{\max}(x, \gamma) \\ g^*(x, \gamma) - a_{\min}(x, \gamma), & g^*(x, \gamma) < a_{\min}(x, \gamma) \\ 0, & a_{\min}(x, \gamma) \leq g^*(x, \gamma) \leq a_{\max}(x, \gamma) \end{cases} \quad (18)$$

$t$  时刻, 当姿态角为  $\gamma(t)$  时,  $d_a(\gamma)$  取得最小值, 即最小匹配距离, 记作  $d_a^*$ 。姿态角变化量为:

$$\Delta\gamma_a = \gamma(t) - \gamma(t-1) \quad (19)$$

则基于雷达目标一维距离像识别目标规则的概率分配函数为:

$$m(a) = \lambda \frac{w_a d_a^*}{\sum_{k=1}^N w_k d_k^*} \quad (20)$$

$$w_k = v_k / \Delta\gamma_k \quad (21)$$

其中  $N$  为总的分类数, 参数  $\lambda$  ( $\lambda \leq 1$ ) 根据类库的丰富程度而定, 类库越丰富,  $\lambda$  越大;  $w_k$  为第  $k$  类的权值。由于目标姿态变化的连贯性, 所以  $w_k$  与所求得目标姿态角变化量成反比; 另一方面, 不同目标机动性能不同, 相同时间内姿态角可变化的范围也不同, 所以  $w_k$  与  $k$  类目标的机动性能  $v_k$  成正比。

### 3.2 基于回波趋向伪本征极化特性的目标识别规则

目标的极化散射特性中包含了有关目标的空间取向和精密几何结构等重要的物理属性信息。在高距离分辨雷达体制下,利用目标的后向散射矩阵可导出目标的最大和最小伪本征极化。分析表明,雷达目标在受电磁波照射时,其回波的极化状态总是比照射波更接近于目标的最大伪本征极化,这称为回波趋向伪本征极化特性,对不同的目标,这种特性各不相同<sup>[5]</sup>。提取目标回波趋向伪本征极化特性的识别特征,对目标进行分类,计算其概率分配函数。

### 3.3 基于目标调制谱特性的目标识别规则

飞机的螺旋桨或喷气发动机旋转叶片、直升机的旋翼等目标结构的周期运动,产生对雷达回波的周期性调制,使回波起伏谱呈现取决于翼片角速度和翼片数等参数的基本调制频率和谐波尖峰。尖峰出现的位置由目标的周期性运动所决定,与雷达频率无关。提取周期性调制谱的识别特征,对目标进行分类,计算概率分配函数。由于不同目标的周期性调制谱差异很大,所以会有较优良的分类效果。

还有其它一些较好的目标识别方法,例如基于频谱估计的目标识别方法,利用目标飞行速度、高度、初始发现距离进行推断的方法等,都可作为这一系统的规则。

## 4 结论

利用目标回波所提供的信息,在D-S理论的基础上,综合利用各种目标识别方法进行目标识别,并介绍了基于雷达目标一维距离像、基于回波趋向伪本征极化特性、基于目标调制谱特性的目标识别等规则,极大的提高了识别率、识别结果的可信度,且有更好的目标分类效果。

## 参 考 文 献

- [1] 郭鹰. 浅晰低分辨率雷达目标识别[J]. 中国雷达,1999,25(1):19-24.
- [2] 曾志勇,王宝树,李芳社. 数据融合中的辐射元识别技术[J]. 西安电子科技大学学报,1999,126(4):462-465.
- [3] 刘芳,吴明. 基于子波进化和时化网络的目标识别[J]. 西安电子科技大学学报,1999,126(3):328-331.
- [4] 孙光民,刘国发,王蕴红. 基于线性内插神经网络的雷达目标一维距离像识别[J]. 电子科学学刊,1999,6(1):97-103.
- [5] 李盾,肖顺平,王雪松. 基于回波趋向伪本征极化特性的目标识别研究[J]. 电子学报,1999,27(9):1-4.

## Radar Target Recognition Based on D-S Theory

CAO Peng, TANG Xiao-bing, HE Zheng-hong  
(The Missile Institute, AFEU., Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** On the foundation of D-S theory, the paper makes use of information provided by the target echo and makes a comprehensive utilization of different methods of target recognition to recognize targets. It greatly improves the recognition efficiency and reliability of recognition result. It also has better effect of target classification.

**Key words:** radar target recognition; one dimension radar distance image; D-S theory