

# 基于 Mellin 变换的利用双谱估计 进行空中雷达目标识别\*

郭 晶 郭桂蓉 苏建志

(国防科学技术大学 长沙 410073)

**摘 要** 作者根据空中雷达目标快速机动的特点,提出了一种利用 Mellin 变换及双谱估计提取目标特征量,应用最近邻(NN)法则进行综合判决的目标识别方法,并给出了计算机仿真实验结果。结果表明,该方法具有良好的抗噪声能力和较高的识别率。

**关键词** 目标识别;双谱;双谱估计

**分类号** TN959.17

许多雷达目标都处于准学光区,雷达回波中包含了目标形状、结构等信息。对于某些型号飞机,其形状、结构相似,目标的特征信息也很接近,仅用功率谱分析方法很难区分目标类型。双谱是三阶自相关函数的二重傅里叶变换,它能提供高阶谱的目标信息,刻画出目标大小、形状上的精细结构,滤除混入目标信号中的零均值高斯噪声,谱特征具有相对的稳定性。双谱信息没有得到充分开发和利用的主要原因是:计算繁复,谱图难以理解,理论上的不成熟。近年来,随着计算机科学的发展,使随机数据处理和繁重的统计计算工作不再成为无法解决的问题。与此同时,双谱理论上的逐步成熟和完善,大大推动了双谱信息的开发和利用。Mellin 变换在图象处理等方面得到了广泛应用,其主要原因在于其重要特性——比例不变性。因此,将 Mellin 变换技术与双谱估计相结合,为空中雷达目标识别提供了一种有效的识别方法。

## 1 双谱估计方法

本文采用了传统的傅氏估计法<sup>[1]</sup>,它具有运算快速、性能稳定的特点。在 VV 或 HH 极化方式下,雷达目标回波可表示为:

$$x(f_j) = \sum_p A_p \cdot \exp\{-f \frac{2\pi R f_j}{C} + \varphi_p + \psi_j\} \quad (1)$$

式中: $A_p$  为第  $p$  个散射中心的第  $j$  个频率点  $f_j$  上的幅度; $R$  为雷达天线至目标的单程波程长度; $C$  为光速; $\varphi_p$  为频率  $f_j$  上目标诱生的固有相位,相对于目标中心; $\psi_j$  为系统相移。对于一频域上的序列  $\{X(1), X(2), \dots, X(N)\}$ , 双谱估计的具体过程为:

(1) 将  $N$  个数据分成  $K$  组,即  $N=KM$  ( $N, K, M$  均为正整数)

\* 1994 年 10 月 5 日收稿

(2)第  $i$  组的数据为  $\{X^{(i)}(k), k=0,1,2,\dots, M-1\}, i=1,2,\dots, K$

计算雷达回波的脉冲响应:

$$y^{(i)}(t) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X^{(i)}(k) \cdot d(k) \cdot \exp\{j2\pi kt/M\} \quad (2)$$

其中:  $t=0,1,2,\dots, M-1, i=1,2,\dots, K$ .

$$\text{汉宁窗 } d(k) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \frac{2\pi(k - \frac{M-1}{2})}{M-1} \right]$$

(3)由雷达回波的脉冲响应,估计双谱:

(Brillinger and Rosenblatt,1967,Nikias and Raghuvver,1987)

$$B^{(i)}(t_1, t_2) = Q y^{(i)}(t_1) \cdot y^{(i)}(t_2) \cdot [y^{(i)}(t_1 + t_2)] \quad (3)$$

其中:  $Q = \left(\frac{N}{f_s}\right)^2$ ,  $f_s$  为采样频率,  $N$  为总的采样的点数

$$0 \leq t_1 \leq t_2 \quad t_1 + t_2 \leq M - 1$$

(4)取平均, 频域序列  $\{X(N)\}$  的双谱估计为

$$B(t_1, t_2) \equiv \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K B^{(i)}(t_1, t_2) \quad (4)$$

仅以 Q7 歼击机为例, 在 VV 极化方式下, 方位角分别为  $4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ$ , 横滚为  $0^\circ$ , 俯角  $0^\circ$ , 仰角  $0^\circ$ , Q7 歼击机的双谱为图 1~图 4。

由下图可看到, Q7 歼击机的双谱估计随目标方位角变化而变化较大。其余两种目标 B52 轰炸机、Mig27 歼击机的双谱估计也随方位角的变化有较大变化<sup>[5]</sup>。

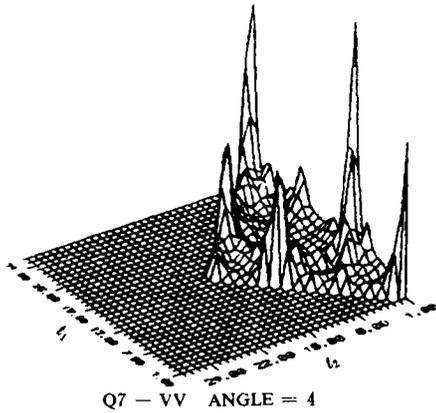


图 1

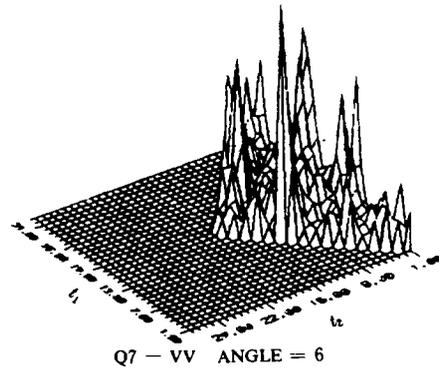


图 2

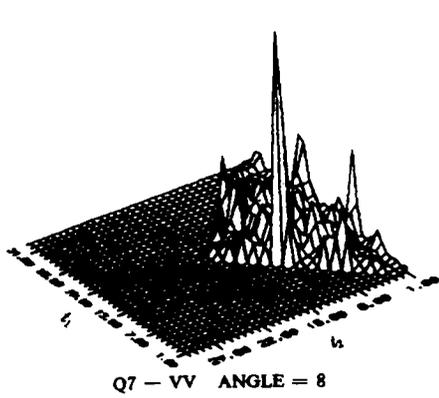


图 3

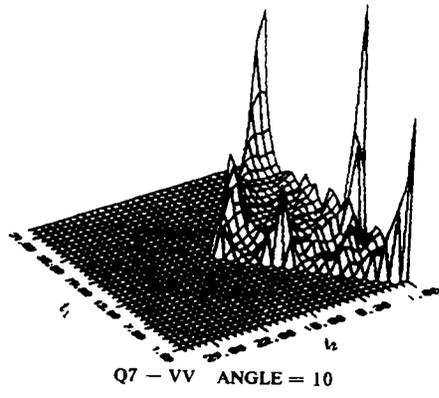


图 4

## 2 Mellin 变换及其特征

目标识别过程本质上是消除信息的不确定性，最终获得未知目标的类属。由于 Mellin 变换的重要特征——比例不变性，为了提取不随目标方位角变化的相对稳定的目标特征信息，可对雷达所接收的频域目标回波信号先进行 Mellin 变换，再进行双谱估计。

对于一频域目标回波序列  $\{S(f)\}$ ，其 Mellin 变换为<sup>[4]</sup>：

$$|S_M(W)| = [(\sum_k (\cos(\omega \ln k) \Delta_k)^2 + (\sum_k \sin(\omega \ln k) \Delta_k)^2)]^{1/2} \quad (5)$$

其中： $\Delta_k = S(f_k) - S(f_{k+1})$

仍以 Q7 歼击机为例，在 VV 极化方式下，方位角分别为 4°，6°，8°，10°，横滚 0°，俯角 0°，仰角 0°，Q7 歼击机双谱图为图 5~图 8 所示。

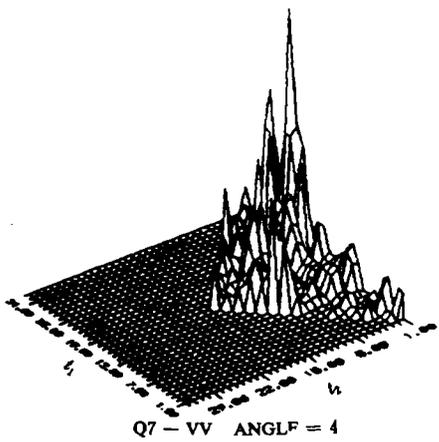


图 5

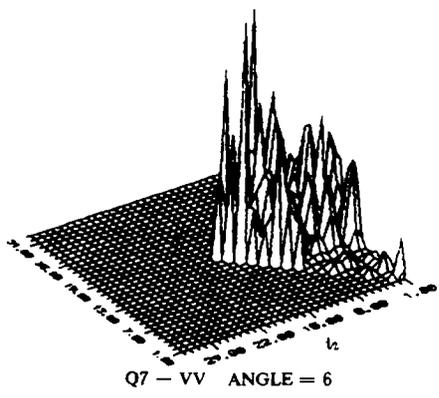


图 6

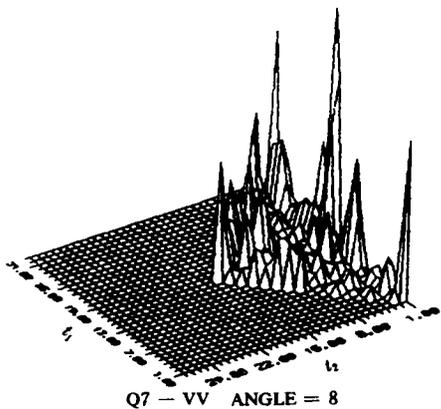


图 7

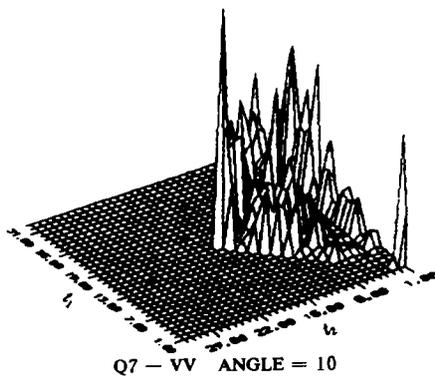


图 8

由上图可看到，当目标方位角变化时，Q7 歼击机的双谱估计具有相对的稳定性。其余两种目标 B52 战略轰炸机、Mig27 歼击机的双谱估计随方位角的变化，也具有相对的稳定性<sup>[5]</sup>。

### 3 统计综合判决

目标识别框图如图 9 所示。

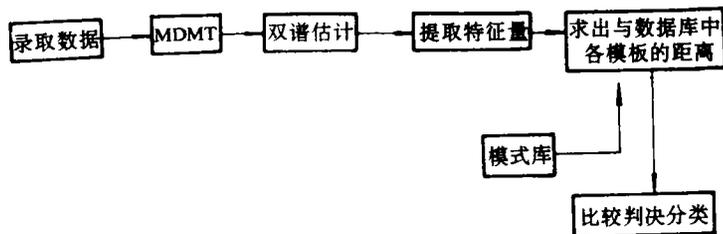


图 9 目标识别框图

#### 3.1 特征量的选择及提取

本文主要从以下三方面选择目标特征量：

- (1) 设法使性能最佳，误识别率最小。
- (2) 减少信息容量，提高识别速度。
- (3) 目标特征量具有相对的稳定性，即尽可能在目标背景发生变化时，目标特征量具有相对不变性。

对大量静态测试的目标数据的处理结果表明，双谱估计的两个特征量——均值和标准差，具有良好的稳定性，可作为识别特征量，均值和标准差的定义如下：

$$(1) \text{ 均值: } M_b = \frac{1}{M^2} \sum_{t_1=0}^{M-1} \sum_{t_2=0}^{M-1} b(t_1, t_2) \quad (6)$$

$$(2) \text{ 标准差: } S_b = \left[ \frac{1}{M^2} \sum_{t_1=0}^{M-1} \sum_{t_2=0}^{M-1} (b(t_1, t_2) - M_b)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

通过确定目标的特征量，建立目标特征数据库。

### 3.2 最近邻 (NN) 分类法

由于某些型号的飞机形状复杂且相近，其特征量的点集分布在复杂曲面上，尽管相互之间有位移，仍然可能互相包围而无法用线性判别规则将它们区分开<sup>[2]</sup>，然而人们可以借助于未知目标（其测量参数把目标投影到特征空间的某一点）与表示不同目标的各个点集之间的距离或相似性量度。如果未知目标离特征空间中目标之一的距离（如欧氏距离）比其它所有目标的距离要短，则未知目标就被认为是那个目标。这就是“最近邻 (NN)” 准则。

具体来讲，定义特征空间中的  $a, b$  两点之间距离为：

$$\text{VV 极化: } d_{a,b} = [(VM_a^a - VM_b^a)^2 + (VS_a^a - VS_b^a)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{HH 极化: } d_{a,b} = [(HM_a^a - HM_b^a)^2 + (HS_a^a - HS_b^a)^2]^{\frac{1}{2}}$$

VV-HH 极化:

$$d_{a,b} = [(VM_a^a - VM_b^a)^2 + (VS_a^a - VS_b^a)^2 + (HM_a^a - HM_b^a)^2 + (HS_a^a - HS_b^a)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

式中： $VM_a^a, VS_a^a, HM_a^a, HS_a^a$ ，分别为 VV, HH 极化方式下， $a$  点的均值和标准差。

$VM_b^a, VS_b^a, HM_b^a, HS_b^a$ ，分别为 VV, HH 极化方式下， $b$  点的均值和标准差。

判别准则：

(1) 在 VV (或 HH) 单一极化方式下，将  $(VM_b, VS_b)$  或  $(HM_b, HS_b)$  作为识别分类特征量，特征空间为  $(\sigma_1, \sigma_2)$ ，则对于特征空间中的一点  $t(\sigma_{t1}, \sigma_{t2})$  可以判为目标  $j$ ，若有  $d_{ij} < d_{ik}$ ， $k=1, 2, \dots, C$ ，且  $j \neq k$ 。其中  $C$  为数据库中目标种类数。

(2) 在 VV-HH 双极化方式下，将  $(VM_b, VS_b, HM_b, HS_b)$  作为识别分类的特征量，特征空间为  $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4)$  则对于特征空间中一点  $d(\sigma_{d1}, \sigma_{d2}, \sigma_{d3}, \sigma_{d4})$  可判为目标  $m$ ，若有  $d_{im} < d_{ik}$ ， $k=1, 2, \dots, C$ ，且  $m \neq k$ 。其中  $C$  为数据库中目标种类数。

### 3.3 识别结果

用本文提出的方法对 3 种飞机模型的静态目标回波进行了目标特征提取和统计综合判决识别实验，识别结果较理想。

三种目标模型分别为 Q7 歼击机、B52 战略轰炸机、Mig27 歼击机，测试中天线极化状态为 H-H 极化和 V-V 极化，根据目标方位角的变化范围分成三个区域进行测量和识别。目标方位角变化范围为： $0^\circ \sim 30^\circ$ ， $50^\circ \sim 130^\circ$ ， $150^\circ \sim 180^\circ$ 。

对于三种飞机目标，方位角为  $0^\circ \sim 30^\circ$ 、横滚  $0^\circ$ 、俯仰  $0^\circ$  时，识别结果由表 1~表 3 所示：

表 1

目标姿态	方位:0-30 俯-0 仰-0		
	VV 极化		
目标	Q7	B52	Mig27
识别率	75%	95.33%	70.83%

表 2

目标姿态	方位:0-30 俯-0 仰-0		
	HH 极化		
目标	Q7	B52	Mig27
识别率	45.83%	100%	62.5%

表 3

目标姿态	方位:0-30 俯-0 仰-0		
	VV-HH 极化		
目标	Q7	B52	Mig27
识别率	89.6%	100%	81.25%

方位角为  $150^\circ \sim 180^\circ$ 、横滚  $0^\circ$ 、俯仰  $0^\circ$  时，识别结果由表 4~表 6 所示：

表 4

目标姿态	方位:150-180 俯-0 仰-0		
	VV 极化		
目 标	Q7	B52	Mig27
识别率	57.17%	87.5%	79.17%

表 5

目标姿态	方位:150-180 俯-0 仰-0		
	VV 极化		
目 标	Q7	B52	Mig27
识别率	62.5%	81.25%	56.25%

表 6

目标姿态	方位:150-180 俯-0 仰-0		
	VV-HH 极化		
目 标	Q7	B52	Mig27
识别率	75%	100%	81.25%

对于 NN 分类法,以目标方位角变化  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$  为例。对 VV 和 HH 单一极化数据共做 96 次识别实验,其平均正确识别率为 75%。对 VV-HH 极化数据共做 48 次试验,其平均正确识别率为 90.3%,比在单一极化下的识别率提高了 15.3%。由此可见,利用双极化数据进行目标识别,大大降低了目标特征量对方位角的强烈依赖性,增强了目标特征量的相对稳定性,因而大大提高了目标识别率。所以,双极化识别方式比单一极化识别方式更能准确地识别空中目标。

## 4 结束语

本文利用了一批超宽带准光学区的目标回波原始数据,对经过 Mellin 变换的目标回波数据进行双谱估计,提取相对稳定的目标特征量,建立目标数据库,应用最近邻(NN)分类判别规则,对未知目标进行分类。通过计算机仿真,实验结果表明,在现有技术条件下,识别结果较理想,且识别具有较好的可靠性、稳定性,达到快速识别目标的目的。

## 参 考 文 献

- 1 L. Nikias and M R Raghuvver Bispectrum Estimation: A Digital Processing Framework Proc of the IEEE Vol 75, No 7, PP 869-891 1987
- 2 White L J and ksienski A A Aircraft identification using a bilinear surface representation of radar data. Pattern Recognition, 1974.
- 3 图契科夫(苏)《飞行器的雷达特征》,信息获取与处理技术交流中心出版, 1989
- 4 Philip E Zwicke A New implementation of the Mellin Transform and its Application to Radar Classification of Ships. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983 PAMI--5. (2)
- 5 郭晶 利用双谱估计实现空中目标自动识别的研究。长沙国防科技大学硕士论文, 1994。

## Aircraft Recognition by Using Bispectral Estimation Based on Mellin Transform

Guo Jing

(Department of Systems Engineering and Mathematics)

Guo Guirong

(Department of Electronic technology)

Su Jianzhi

(Department of Systems Engineering and mathematics)

National University of Defence Technology ChangSha 410073)

### Abstract

Radar target recognition is an important aspect of modern radar technology. With the development of radar technology at higher levels and better functions, it is necessary to set up an advanced automatic target recognition system in air—defence. In this paper, according to aircraft's fast and flexible features, a new recognition approach is proposed by using Mellin transform and bispectrum estimation to obtain radar targets' signatures. The nearest—neighbour(NN) algorithm can be used for classification of radar targets. The results of computer stimulation tests show that this approach has better noise—proof ability and higher recognition rate.

**Key words** target recognition; bispectrum; bispectrum estimation

---

(上接第 46 页)

## A New Implementation of Preset Equalizer

Zheng Linhua Huang Xiaoyan Wang Chengyou

(Department of Electronic Technology)

### Abstract

We present a new implementation of voice-band channel preset equalizer. DFT is used to compute the groupdelay of channel and the transferfunction of channel is determined by groupdelay. This method is easy and efficient.

**Key words**: groupdelay mesurment, DFT