

# 基于多重变换的一种雷达目标识别方法\*

张善文

(空军工程大学导弹学院, 陕西, 三源, 713800)

赵栓堂

(中国飞行实验研究院, 陕西, 西安, 710089)

**摘要** 利用多重变换, 提出了一种雷达目标识别方法. 将雷达回波信号与本振信号混频处理后采样, 进行 FFT, 得到目标的一维距离像, 计算其马氏距离, 利用小波变换对马氏距离序列进行数据压缩, 得到目标的特征向量, 由相关识别法进行目标识别. 由 3 类飞机模型测量数据的识别结果表明, 该方法具有较高的识别率.

**关键词** 高分辨率雷达, 快速傅立叶变换, 小波变换, 马氏距离.

## A KIND OF RECOGNITION METHOD OF RADAR TARGET BASED ON MULTI-TRANSFORM\*

ZHANG Shan-Wen

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

ZHAO Shuan-Tang

(Chinese Flight Test Institute, Xi'an, Shaanxi 710089, China)

**Abstract** A recognition method of radar target was presented by using multi-transform. First, target 1-D range profile was obtained by FFT. Then the Mahalanobis range of 1-D range profile was calculated. Then the target characteristics were extracted by wavelet transform, in which the data of Mahalanobis range were compressed. The experiments of recognition using the data of three kinds of aircraft models were performed. It demonstrates that the method has high recognition rate.

**Key words** high-resolution radar, FFT, wavelet transform, Mahalanobis range.

### 引言

对于高分辨雷达, 由于雷达目标的电尺寸远大于雷达的距离分辨单元, 所以雷达目标回波信号在时间上是多个散射中心在径向距离上的投影分布, 目标回波信号存在于许多距离单元内, 目标回波为多散射点形成的一维距离像. 因此, 利用高分辨雷达可获得目标的高分辨率距离像. 由于运动目标相对于雷达的视角在不断变化, 使得目标各散射中心及其交叉项在径向距离上的投影位置随之变化, 因而距离像与时间的比例也发生了变化. 为了得到不敏于目标姿态角变化产生时间比例变化的目标特征向量, 本文利用 FFT、马氏距离及小波变换, 提出了一种雷达目标识别方法.

### 1 马氏距离的性质

在数理统计中, 观察样本  $x$  到  $\mu$  的马氏距离平方定义为

$$d = [x - \mu] A^{-1} [x - \mu]^T. \quad (1)$$

式(1)中  $\mu$  为均值,  $A$  为协方差矩阵,  $T$  为转置.

马氏距离具有 3 个性质<sup>[1]</sup>:

- (1)  $x$  经平移变换后, 它的马氏距离不变;
- (2)  $x$  经旋转变换后, 它的马氏距离不变;
- (3)  $x$  经仿射变换后, 它的马氏距离不变.

### 2 雷达目标识别的一种方法

对高频线性调频信号进行混频处理大大降低了 A/D 变换器的采样率, 同时也减小了运算量. 由 F

\* 国防科技预研基金(批准号 99 J 1.4.1 JB2004)资助项目  
稿件收到日期 2001-01-03, 修改稿收到日期 2001-05-22

\* The project supported by the Science and Technology Preliminary Research Foundation of National Defense of China (No. 99 J1.4.1 JB2004)  
Received 2001-01-03, revised 2001-05-22

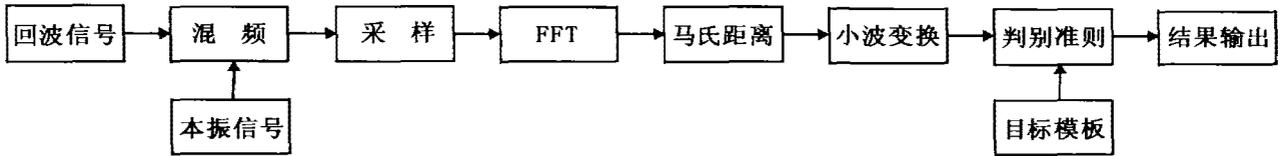


图 1 雷达目标识别的系统框图

Fig. 1 Block diagram of the system of radar target recognition

FT可以得到目标的一维距离像,维数降低了一半,而且通过FFT消除了回波时延对目标特征的影响.由马氏距离的三个性质可知,通过计算目标一维距离像的马氏距离而得到的特征矢量可以消除目标姿态角变化产生时间比例变化对目标识别的影响.为了满足实时性要求,必须对特征矢量进行数据压缩.通过采用正交二进Symlets小波和3尺度下的输出矢量,使特征矢量维数降低了2/3倍,同时保持了原特征矢量的大部分信息.图1为目标识别系统框图,具体识别步骤如下:

设雷达发射信号为宽带线性调频信号  $S_0(t)$ ,

$$S_0(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \cdot \exp[j2\pi(f_0 \cdot t + \mu \cdot t^2/2)]. \quad (2)$$

式(2)中  $f_0$  为线性调频信号的起始频率,  $\mu$  为调频指数,  $T$  为线性调频信号时宽.

### 2.1 混频处理

若雷达接收信号为  $S(t)$ , 本振信号为  $S_b(t)$ , 混频后的输出为  $S_h(t)$

$$S_h(t) = S(t) \cdot S_b^*(t), \quad (3)$$

设  $\Delta t$  为采样间隔, 对  $S_h(t)$  进行离散采样得  $S_h(n \cdot \Delta t)$ ,  $n = 1, 2, \dots, 2N$ ,  $N = 2^{m-1}$ .

### 2.2 进行FFT

对  $S_h(n \cdot \Delta t)$  进行FFT得目标的一维距离像为  $S_h(f_n)$ ,  $f_n = n \cdot \Delta f$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ . 设  $M = \text{Max}[S_h(f_n)]$ , 归一化得  $S_h(f_n)/M$ .

### 2.3 计算马氏距离平方

设  $S_h(f_n)/M$  的马氏距离平方  $m_n$  为

$$m_n = [a_i - \bar{a}] A^{-1} [a_i - \bar{a}]^T, \quad (4)$$

式(4)中  $\bar{a}$  为均值,  $A$  为协方差矩阵.

$$\bar{a} = [\bar{x}, \bar{y}]^T = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f_n, \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_h(f_n)/M \right]^T, \quad (5)$$

$$A = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \begin{bmatrix} f_n & -\bar{x} \\ S_h(f_n) & -\bar{y} \end{bmatrix} [f_n - \bar{x}, S_h(f_n) - \bar{y}], \quad (6)$$

得特征向量记为  $W = [m_1, m_2, \dots, m_N]$ .

### 2.4 小波交换

根据Mallat算法对特征向量  $W$  进行正交二进Symlets小波分解, 取第3级小波系数, 记为  $Z = \{Z(n) | n = 1, 2, \dots, M\}$ ,  $M = N/2^3$ .

### 2.5 构造特征模板

构造雷达目标的特征模板, 存入计算机. 目标  $k$  的特征模板记为  $Z_k$ .

### 2.6 相关判别法

计算未知目标的特征向量  $Z$  与第  $k$  个目标模板的特征向量  $Z_k$  的相关系数  $d_k$ ;

$$d_k = \frac{1}{2M} \cdot \frac{\left| \sum_{n=1}^M \sum_{i=0}^{2M-1} Z(i) * Z_k(i+n) \right|}{\left\{ \left[ \sum_{i=1}^M |Z(i)|^2 \right] \cdot \left[ \sum_{j=1}^M |Z(j)|^2 \right] \right\}^{1/2}}. \quad (7)$$

对于所有的  $k$ ,  $d_k$  的最大值对应的模板为目标识别结果.

## 3 仿真实验结果

本实验数据选自某毫米波雷达对3种类型飞机的缩比模型进行目标识别的实验结果. 雷达发射信号为线性调频信号, 带宽为400 MHz, 经过混频处理后进行采样, 采样频率为10 MHz. 对飞机鼻锥方向  $\pm 30^\circ$  方位角变化范围内的雷达回波采样, 采样间隔为  $1^\circ$ , 取采样点数为1024. 目标编号为:(A)、(B)、(C). 图2(a)、(b)、(c)分别为飞机(A)、(B)、(C)鼻锥方向  $10^\circ$  时的一维距离像、一维距离像的马氏距离序列及其第三阶小波分解系数. 本文由飞机鼻锥方向  $30^\circ$  的雷达回波得到的特征向量作为目标的特征模式.

通过对每类飞机进行60次实验, 得到识别结果: 目标(A)、目标(B)及目标(C)的识别率分别为90%、92%和96%. 实验结果表明, 在目标姿态角  $\pm 30^\circ$  方位角变化范围内, 该方法具有很好的识别效果.

## 4 结语

利用毫米波高分辨雷达的目标回波信号, 进行

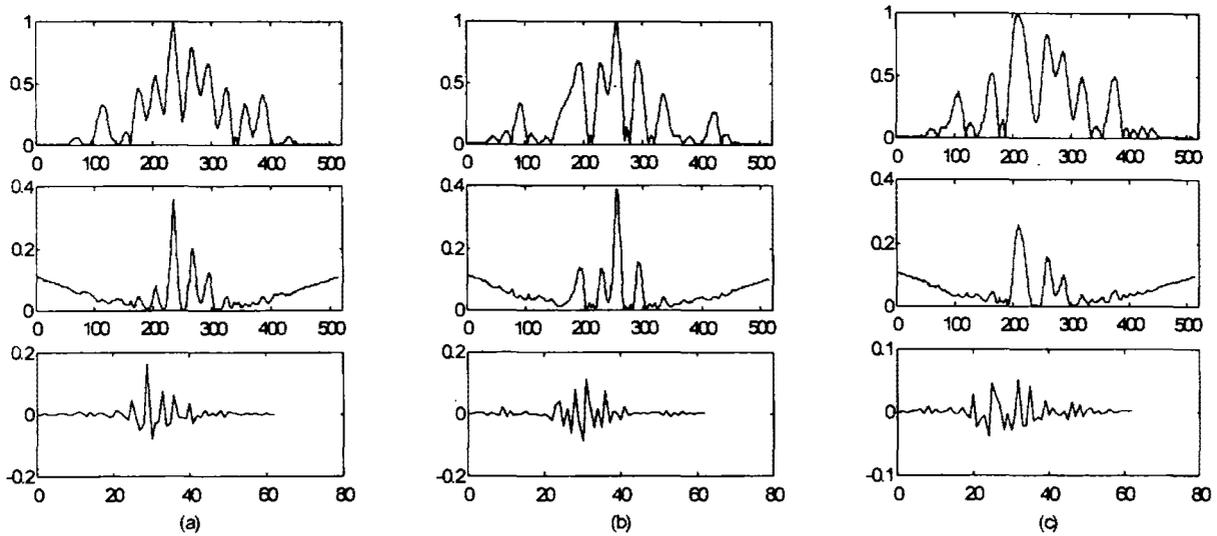


图2 (a)、(b)、(c)分别为目标(A)、(B)、(C)的一维距离像、马氏距离序列、第三阶尺度上的小波分解系数

Fig. 2 (a) 1-D range image, Mahalanobis range series, wavelet coefficients of third scale of the target(A)

(b) 1-D range image, Mahalanobis range series, wavelet coefficients of third scale of the target(B)

(c) 1-D range image, Mahalanobis range series, wavelet coefficients of third scale of the target(C)

混频、FFT、小波变换,然后计算其马氏距离,得到目标识别的特征向量.由于马氏距离具有平移、旋转、仿射变换不变性和FFT与小波变换对噪声具有抑制作用,所以,此特征向量对目标的姿态角不敏感和对噪声干扰具有抑制作用,特征维数也得到了压缩.仿真实验结果表明,以此为特征向量进行目标识别,识别率很高,同时,该方法简单、易于实现、具有较大的实用意义.

## REFERENCES

- [1] CHEN Xi, XIANG Jian-Yong, YANG Yi-He. The invariant theory used in air-target recognition. *J. Infrared Millim. Waves* (陈晰,向健勇,杨宜禾.不变性理论用于空中目标的识别. *红外与毫米波学报*), 1997, **16**(1): 39—43
- [2] LU Guo-Chun. Imaging technique in the dimension of radar range. *Fire-Control Radar Technique* (鹿国春.雷达距离维成像技术. *火控雷达技术*), 2000, **3**(29): 12—16
- [3] XIAO Shun-Ping, WANG Xue-Song, ZHUANG Zhao-Wen. The target of aircraft recognition based on polarization invariant. *J. Infrared Millim. Waves* (肖顺平,王雪松,庄钊文.基于极化不变量的飞机目标识别. *红外与毫米波学报*), 1996, **15**(6): 439—444
- [4] JIANG Wei-Dong, ZHUANG Zhao-Wen, CHEN Ceng-Ping. A recognition method using range profile of radar target. *Modern Radar* (姜卫东,庄钊文,陈曾平.基于一维距离像的目标识别方法. *现代雷达*), 1999, **21**(1): 19—22
- [5] LI H J, YANG S H. Using range profile as feature vectors to identify aerospace objects. *IEEE Trans, on Ap.*, 1993, **41**(3): 261—268
- [6] Zwicke P E, KISS I. A new implementation of Mellin transform and its application to radar classification of ships. *IEEE Trans on PAMI*, 1983, **5**(2): 191—199