

基于距离分类准则的雷达目标识别方法

甄蜀春¹, 冯有前¹, 卜雪妮²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 西安飞机设计研究所, 陕西 闫良 710089)

摘要:雷达目标信号是非平稳信号,对于这样的非平稳信号,用于分类的特征往往包含在局部的时-频信息中,用一般的变换提取有效的特征比较困难。利用小波包基的性质,提出了一种雷达目标识别方法。首先,对雷达回波信号进行小波分解,利用距离准则,选择最优小波包基,从被识别的信号中提取具有最大可分性的特征,得到目标识别的特征向量,由此进行目标识别。仿真实验结果表明,该方法具有高的识别率。

关键词:目标识别;小波包基;距离准则

中图分类号:TN957.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)06-0018-03

高分辨率雷达目标的后向散射回波含有目标的精细物理结构特征信息,可视为有限个散射中心及其散射中心相互作用产生的合成信号。其散射中心一般位于目标的边缘、拐点和连接处。回波信号中的这些精细结构信息反映了目标的本质特征。这些目标特征表现为散射中心在目标上的空间分布。然而,单一的时域或频域方法难以完整刻画目标的雷达特性。信号的小波变换描述了信号能量在时间-频率坐标系中的分配,它同时在时域和频域上表征信号,从而能提取更多的反映目标物理结构特征的信息。

1 距离准则

雷达目标识别是根据雷达回波来鉴别目标的,可以分为3个步骤:目标的数据获取、特征提取和识别算法。其中,特征提取是雷达目标识别的关键一步。在特征空间中,一个模式特征矢量可视为该空间中的一个点,模式中的样本集是该空间的一个点集,通常样本平均类内距离越小,类别的可分性越好。因此样本之间的距离是研究样本分布和度量类别可分性最直观的准则。设 c 个模式类 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$ 的联合特征矢量集为

$$\{\mathbf{x}^{(i,k)}, i=1,2,\dots,c; k=1,2,\dots,N_i\} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{x}^{(i,k)}$ 为 ω_i 中第 k 个特征矢量; N_i 为 ω_i 类中的特征矢量数目。

首先计算 ω_i 类中所有特征矢量间的平均距离 S_i , 其定义为

$$S_i = \frac{1}{2} \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \frac{1}{N_i - 1} \sum_{k=1}^{N_i} \|\mathbf{x}^{(i,j)} - \mathbf{x}^{(i,k)}\|^2 \quad (2)$$

对 $S_i (i=1,2,\dots,c)$ 求平均后得到平均类内距离为

$$S_w = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c S_i \quad (3)$$

式(3)展开后,经推导得到平均类内距离为

$$S_w = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{N_i - 1} \sum_{k=1}^{N_i} (\mathbf{x}^{(i,k)} - \boldsymbol{\mu}^{(i)})^2 \quad (4)$$

收稿日期:2004-09-01

基金项目:国家高等学校骨干教师资助计划首批资助项目(2002X14)

作者简介:甄蜀春(1940-),男,四川盐亭人,教授,博士生导师,主要从事防空武器系统微波技术与智能检测研究;
冯有前(1960-),男,陕西富平人,教授,主要从事小波理论及其应用研究。

式中, $\mu^{(i)} = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} x^{(i,k)}$, $\mu^{(i)}$ 为 ω_i 类样本特征矢量的均值。

此外,通常可用类别的均值矢量代表该类别,样本总体均值矢量为 μ ,对 c 个类别平均类间距离定义为

$$S_b = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (\mu^{(i)} - \mu)^2 \tag{5}$$

式中, $\mu = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} x^{(i,k)}$ 为样本总体均值。

小的平均类内距离和大的平均类间距离才具有好的可分性,因此距离准则定义

$$J_A = \frac{S_b}{S_w} = \frac{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (\mu^{(i)} - \mu)^2}{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{N_i - 1} \sum_{k=1}^{N_i} (x^{(i,k)} - \mu^{(i)})^2} \tag{6}$$

式(6)恰好为单位特征(分量)的类间均值的方差与类内方差与类内方差的均值之比。

2 小波包基选择及特征提取

假定训练样本的小波包系数间是互不相关的(小波变换具有较好的去相关性),以式(6)为准则选择小波包基。具体算法如下:

1) 设 c 个模式类 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$ 的训练样本集为 $\{\xi^{(i,k)}, i=1, 2, \dots, c, k=1, 2, \dots, N_i\}$, $\xi^{(i,k)}$ 为 ω_i 中样本矢量, N_i 为 ω_i 类的样本数。对 $\xi^{(i,k)}$ 进行小波分解,分解级数 $j=1, 2, \dots, L$ 。第 j 级中第 n 个小波包子空间为 $U_j^n (j=1, 2, \dots, L; n=0, 1, 2, \dots, 2^{j-1})$, U_j^n 中的小波包系数为 $\{x_p^{(i,k)}, p=1, 2, \dots, p_j\}$

2) 按式(6)计算 U_j^n 中第 p 个小波包系数 $x_p^{(i,k)}$ 对应的 J_A 越大,对应的该特征分量可分性越好,如果 U_j^n 中所有 J_A 的平均值越大,则该子空间对分类越有利。 U_j^n 中所有 J_A 的平均值为

$$J_{(j,n)} = \frac{1}{P_j} \sum_{p=0}^{p_j} J_{Ap} \tag{7}$$

对每个子空间 U_j^n 按上述方法可得到一个对应的 $J_{(j,n)}$ 。

3) 在小波包库中找出使 $\sum_{j,n} J_{(j,n)}$ 为最大值的小波包基,即最优基。该小波包基中所有 m 个小波包系数对应的 J_{A_i} 值为 $J_{A_1}, J_{A_2}, \dots, J_{A_m}$ 。对 $J_{A_1}, J_{A_2}, \dots, J_{A_m}$ 排序后为 $J_{A_1}^* \geq J_{A_2}^* \geq \dots \geq J_{A_m}^*$ 。

4) 对待分类或识别的模式按所选择的最优基进行 WPT, (Wavelet Packet Transform) 并选择与 $J_{A_1}^* - J_{A_d}^*$ 对应的一组 WP (Wavelet Packet) 系数作为特征矢量。

3 识别方法

利用雷达目标回波数据能够进行目标识别,识别具体步骤如下:

1) 对多种雷达目标信号进行提取、预处理,即对得到的信号进行能量归一化,目的是消除由于缺陷程度所导致的影响。

2) 根据距离准则,由样本信号求取最佳小波包基。计算样本信号的特征向量,将其作为该目标的识别模板。

3) 对待识别目标的目标回波信号进行最佳小波包基分解,由式(7)计算特征向量。

4) 比较待识别目标的特征向量和模板特征向量。可以计算两者的相关系数,根据相关系数大小判断目标类型。

4 识别结果

用某宽带雷达对某型号的轰炸机、歼击机、军用直升机模型的实测数据进行识别方法验证。对飞机鼻锥向方向 $0^\circ \pm 30^\circ$ 方位角变化范围内的测量数据进行实验,每方位角测量 512 点,方位间隔 1° 。获取每类飞

机的回波各 100 组,其中 50 组用于模板建立,另 50 组用于识别方法验证。图 1 为 3 类飞机的鼻锥向为 0° 时的雷达回波信号,采样点为 512,幅度归一化。

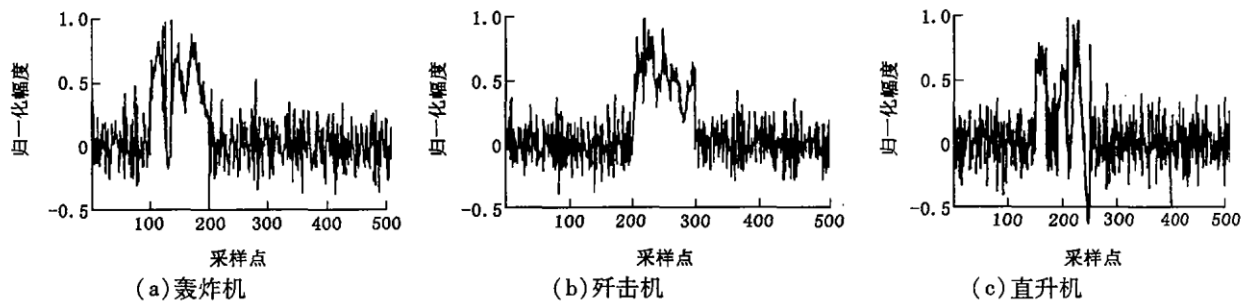


图 1 雷达回波信号

利用本文提出的识别方法对 3 类目标进行识别,得到的识别率分别为 95%,97%,100%。

5 结论

本文基于小波包性质和距离分类准则,提出了一种雷达目标识别方法。对雷达回波信号样本进行多分辨分析,利用距离准则,得到最佳小波包,然后对雷达目标信号进行小波包分解,消除了分解的冗余信息,提取雷达目标信号的特征向量,能够反映目标的特征,由此进行目标识别。识别结果表明,该方法用于空中目标的识别,具有高的识别率。

参考文献:

- [1] 王首勇,朱光喜,唐远炎. 应用最优小波包变换的特征提取方法[J]. 电子学报,2003,31(7):1035-1038.
- [2] 文树梁. 基于双距离像的雷达目标识别技术[J]. 现代雷达,1996,18(1):15-21.
- [3] 陈 昕. 不变理论用于空中目标的识别[J]. 红外与毫米波学报,1997,16(1):39-43.
- [4] 姜卫东. 基于一维距离像的目标识别方法[J]. 现代雷达,1999,21(1):19-22.
- [5] 许 稼. 一种基于小波变换的雷达目标多重变换特征提取方法,空军雷达学院学报,1999,13(1):11-16.
- [6] Zwicke P E, Kiss I. A New Implementation of Mellin Transform And Its Application to Radar Classification of Ships[J]. IEEE Trans on PAMI,1983,5(2),191-199.

(编辑:田新华)

Method of Target Recognition Based on Distance Classification Criteria

ZHEN Shu - chun¹, FENG You - qian¹, BU Xue - ni²

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. Xi'an Plane Design Institute, Yanliang, Shaanxi 710089, China)

Abstract: Radar signals are of non-stationary, so extracting effective classification features from them by general transformation methods is very difficult. Based on the characters of wavelet packet bases, a method of recognizing radar target is presented in this paper. The target recognition observes the following process - first resolving the wavelet of radar echo-signal, selecting the optimum wavelet bases via given training sample sets based on distance criteria to get the feature vector for target recognition, thus the targets are recognized by the effective features. The experiments of recognition using the data of three kinds of aircraft models are performed and the result demonstrates high recognition rate and low sensitivity to noise by using this method.

Key words: target recognition; wavelet packet basis; distance criterion