

# 基于小波变换的无线电引信目标识别研究\*

单剑锋<sup>1</sup>, 翟 波<sup>2</sup>

(1 南京邮电大学电子科学与工程学院, 南京 210003; 2 辽宁石油化工大学, 辽宁抚顺 113001)

**摘要:**根据无线电引信回波多普勒信号功率主要集中在低频部分的特点,对淹没在噪声中的无线电引信回波信号进行小波分解,提取低频段不同频带内信号能量作为特征,用 Fisher 判别方法对目标进行检测。针对不同信噪比,对某典型无线电引信回波信号进行定量研究,实验结果表明该方法是有用的。

**关键词:**小波变换; 无线电引信; 特征提取

**中图分类号:** TN911; TJ43 **文献标志码:** A

## Wavelet Based Target Detection for Radio Fuze Signal

SHAN Jianfeng<sup>1</sup>, ZHAI Bo<sup>2</sup>

(1 College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2 Liaoning Shihua University, Liaoning Fushun 113001, China)

**Abstract:** Feature extraction of radio fuze signal using wavelet transform is discussed in this paper. The signal is first decomposed by wavelet transform, and on the basis, the decomposed coefficients are reconstructed to form a new time series, from which some energy parameters can be extracted by time-domain analysis. The target signal is detected by Fisher discrimination criterion. The effectiveness of the method is verified by a typical radio fuze signals with different signal to noise ratio (SNR).

**Keywords:** wavelet transform (WT); radio fuze; feature extraction

### 0 引言

传统无线电引信利用回波多普勒信号的幅值和增幅速率等特征方法进行特征提取和目标识别,这种基于时域的方法提取特征稳定性差,要求信噪比高,越来越不适合现代战争日趋复杂的电磁环境。近年来,随着小波理论的发展以及其特有的时频局部特性等诸多优点,使得它在特征提取、故障诊断、模式识别及去噪等很多领域得到了广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。针对不同信噪比情况下的某典型无线电引信回波信号,文中利用小波分解,在传统小波变换信号特征提取方法<sup>[6]</sup>基础上根据引信信号特点提出了新的特征提取方法,用 Fisher 判别方法对目标进行检测。过去由于技术基础水平的限制,引信的信号处理难以采用现代信号处理方法,随着小波理论、算法、硬件实现的进展<sup>[7-9]</sup>,提供了这种可能性,使引信向高精度和智能化方向发展。

### 1 文中目标信号特征提取方法

传统小波变换信号特征提取方法见文献<sup>[6]</sup>。对于多普勒无线电引信混频器输出信号,由于目标多普勒信号集中于该信号的低频部分,通常低于带外闭锁通道截止频率的一半,因此,提取目标信号特征只需关注带外闭锁通道截止频率一半以下的特征。同文献<sup>[6]</sup>,以 3 层小波分解为例,剔除闭锁频率一半以上小波系数  $d_1$ ,即只提取小波系数  $c_3$ 、 $d_3$ 、 $d_2$ ,用其所代表频带的能量作特征,构造特征向量:  $\mathbf{X} = (E_0, E_1, E_2)$ 。

根据小波变换理论,尽管提取部分小波系数不能准确恢复原信号,但对于多普勒无线电引信目标识别问题并不需要恢复原信号,只须准确有效提取目标信号特征进行识别,由于弹目交汇时间很短,因而算法的实时性显得尤为重要,这样在有效的小波分解层次下降低了特征维数,提高了多普勒无线电引信的实时性。

\* 收稿日期: 2008-12-11

基金项目: 南京邮电大学引进人才科研启动基金(NY207024)资助

作者简介: 单剑锋(1967-),男,浙江东阳人,副教授,博士,研究方向: 目标探测与信号处理。

目前,大多数小波变换均存在一定的频谱混叠现象,该现象导致重构信号时会出现一定误差,文中仿真比较了多种小波,对目标识别率没有显著差异,鉴于引信要求计算复杂度低、实时性高,文中选用最简单的小波——Haar 小波。

## 2 Fisher 判别方法

在统计学上,常用的判别模型有距离判别模型、Bayes 判别模型、Fisher 判别模型等<sup>[10]</sup>。由于引信目标识别可以看作是两类判别问题,且要求计算简单,判别速度快。文中选用 Fisher 判别方法,Fisher 判别模型的思想是投影:将 2 组  $d$  维样本投影到某个方向,并借用方差分析的思想,使它的投影组与组之间尽可能地分开,从而得到 Fisher 判别准则下的线性判别函数:

$$y = \mathbf{w}^T \mathbf{X} = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_d x_d$$

式中:  $\mathbf{w} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_d)^T$  为判别系数向量,  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$  为特征量。

如何判别接收信号中是否有目标信号,可以归结为一个两类判别的模型。问题描述为:有 2 个总体  $G_1, G_2$  (如  $G_1$  为背景信号总体,  $G_2$  为含目标信号总体),它们的特征量为  $d$  维向量  $\mathbf{X}$ 。对于给定的一个新的样本,要判断它属于总体  $G_1$  还是总体  $G_2$  (即判断是背景信号还是含目标信号)。

设两总体均值为  $m_1, m_2$ , 对应的判别函数值分别为  $\mathbf{w}^T m_1, \mathbf{w}^T m_2$ 。若  $\mathbf{w}^T m_1 < \mathbf{w}^T m_2$ , 则判别规则为:若  $\mathbf{w}^T m_1 < y_0$ , 则判为属于  $G_1$ ; 若  $\mathbf{w}^T m_1 \geq y_0$ , 则判为属于  $G_2$ 。其中若  $y_0$  为阈值点,它可以是  $\mathbf{w}^T m_1$  和  $\mathbf{w}^T m_2$  的简单平均或加权平均。

将上节由小波变换提取的特征量  $\mathbf{X}$  用于目标信号检测。设背景信号的  $n_1$  次观测数据的特征量为  $X_1^{(1)}, \dots, X_{n_1}^{(1)}$ , 含有目标信号的  $n_2$  次观测数据的特征量为  $X_1^{(2)}, \dots, X_{n_2}^{(2)}$ , 利用 Fisher 判别准则得到线性判别函数:

$$y = \mathbf{w}^T \mathbf{X} = \omega_0 E_0 + \omega_1 E_1 + \omega_2 E_2$$

式中:  $\mathbf{w} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_d)^T$  为判别系数向量,再结合判别规则,就可以对待判信号进行是否有目标信号的识别。

## 3 仿真与分析

取某种典型引信,其典型有效作用域为:由引信作用距离确定的多普勒信号增幅速率范围是  $0.1 \sim 0.6 \text{V/s}$ ,当目标距引信距离远时增幅速率小,接近时增幅速率增大,包络呈双曲线形状,多普勒信号频带为  $100 \sim 500 \text{Hz}$ ,带外闭锁通道截止频率为  $1000 \text{Hz}$ 。该引信的典型目标信号曲线见图 1。

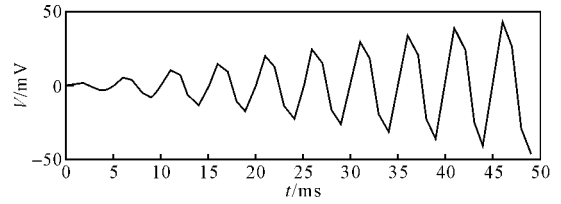


图 1 目标信号

模拟背景噪声为高斯白噪声进入带外闭锁通道截止频率内的噪声,模拟 100 次目标多普勒信号和 100 次目标和背景噪声混合信号,目标和背景噪声的混合信号的一次模拟曲线见图 2。信噪比  $\text{SNR} = -5.7467 \text{dB}$ 。文中信噪比定义为:

$$\text{SNR} = 10 \lg \left( \frac{\sum_{i=1}^N s(i)^2}{\sum_{i=1}^N n(i)^2} \right)$$

式中:  $s(i)$  是信号;  $n(i)$  是噪声;  $N$  是采样点数。

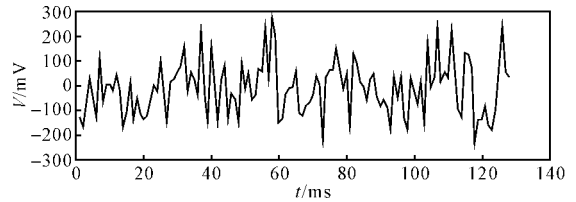


图 2 接收信号

对接收信号进行 3 层小波分解,按照文中目标信号特征提取方法提取相应频带的能量作为特征,其中 5 次模拟背景信号和 5 次模拟含目标信号的特征量  $\mathbf{X} = (E_0, E_1, E_2)^T$ ,见表 1。

对两组特征量数值,利用 Fisher 判别分析,得到判别函数为:

$$y = 0.0011E_0 + 0.0012E_1 + 0.0013E_2$$

阈值  $y_0 = 1.3617$ 。再结合判别规则,目标信号的检测率为  $100\%$ ,虚警率为  $0$ 。

在其他信噪比情况下,模拟计算结果见表 2。

表 1 背景信号和含目标信号的特征量

	$E_0$	$E_1$	$E_2$
	319.3678	394.1386	699.8731
含 目 标 信 号	326.1479	341.4619	739.2376
	567.2874	493.6725	626.4782
	443.4728	443.5792	629.5689
	487.7389	351.7300	759.0873
背 景 信 号	345.3285	306.6083	509.3190
	432.3183	382.8390	389.3207
	278.2480	311.6731	612.5738
	306.8362	368.7327	596.8730
	304.7387	368.4307	496.7582

表 2 不同信噪比的目标信号检测结果

信噪比/dB	检测率/%	虚警率/%
-3.2486	100	0
-5.7467	100	0
-6.9462	98	0
-9.2654	89	7
-11.6493	81	15

从仿真结果可以得出文中方法能处理信号的信噪比达 -7dB, 根据 Fisher 判别分析方法中确定阈值的公式并结合引信目标识别的特点, 阈值范围取 1.3~1.4 较好, 文中方法优于传统的目标检测方法, 计算简单, 运算速度快于其它复杂的目标检测方法, 比如神经网络方法。

### 4 结束语

文中将 Haar 小波变换方法应用于无线电引信目标信号特征提取, 在传统小波变换信号特征提取方法基础上根据引信信号特点提出了更简洁的新的特征提取方法, 然后用 Fisher 判别方法对目标进行检测, 通过对不同信噪比下某典型引信的仿真信号进行检测计算, 验证了该方法的有效性。

参考文献:

[1] Sherlock B G. Wavelet based feature extraction for

target recognition and minefield detection, ADA401966 [R]. National Technical Information Service, 2002.

[2] Elif, Derya, beyli. Wavelet/mixture of experts' network structure for EEG signals classification [J]. Expert Systems with Applications. 2008, 34 (3):1954-1962.

[3] 王小丹, 王积勤. 基于小波分解及 KCN 的雷达目标特征提取[J]. 电波科学学报, 2003, 18(2):32-37.

[4] Serhat Seker, Emine Ayaz. Feature extraction related to bearing damage in electric motors by wavelet analysis[J]. Journal of The Franklin Institute, 2003, 340(2):125-134.

[5] A Hossen, F Al-Wadahi, J A Jervase. Classification of modulation signals using statistical signal characterization and artificial neural networks[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2007, 20(4):463-472.

[6] 单剑锋, 崔占忠, 贾永红. 基于小波神经网络的无线电引信目标识别 [J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25 (4):476-478.

[7] Lin, jiang. Feature extraction of machine sound using wavelet and its application in fault diagnosis [J]. NDT and E internation, 2001, 34(1):25-30.

[8] YANG Xuezhi, PANG Grantham, YUNG Nelson. Discriminative training approaches to fabric defect classification based on wavelet transform[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(5):889-899.

[9] Cowling Michael, Sitte Renate. Comparison of techniques for environmental sound recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24 (15): 2895-2907.

[10] Chein-I Chang, Baohong Ji. Fisher's linear spectral mixture analysis[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. 2006, 44 (8): 2292-2304.