

基于调制统计量的水下高速目标分类算法

王 森, 高 鑫, 程玉胜

(海军潜艇学院, 山东青岛 266044)

摘要: 针对 DEMON 谱调制频率的可分性进行研究。利用高速目标与非高速目标在调制频率成分上的差异性, 对目标 DEMON 谱历程矩阵进行梯度差分 and 量化处理, 定义了目标辐射噪声的量化矩阵和调制统计量, 提出了一种基于目标辐射噪声调制统计量的水下高速目标分类识别算法, 比较了不同门限情况下高速目标与非高速目标随调制统计量的分布情况。大量实测数据分析表明, 此算法可以可靠地对高速目标进行分类识别。

关键词: DEMON 谱; 调制频率; 调制统计量; 高速目标; 分类识别

中图分类号: TB56

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-01-0061-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.01.013

A classification method of high speed underwater target based on modulation statistics

WANG Sen, GAO Xin, CHENG Yu-sheng

(Navy Submarine Academy, Qingdao 266044, Shandong, China)

Abstract: Research on the separability of modulation frequency of DEMON spectrum has been done. Considering the difference between high and non-high speed targets in the modulation frequency components, the quantitative processing and the gradient difference of the DEMON process matrix are conducted, and the quantization matrix and the modulation statistics of target radiated noise are defined. A method based on the modulation statistics of target radiated noise is put forward to classify the high speed underwater targets. The modulation statistics histograms of high and non-high speed targets with different thresholds are compared. The method, which classifies the high speed targets well, is verified by experimental results.

Key words: DEMON spectrum; modulation frequency; modulation statistics; high speed target; classification

0 引 言

现阶段, 水下高速目标在航速、航程、航深、隐蔽能力等方面的性能显著提高, 针对水下高速目标进行特征提取、分类识别和预警是被动声呐信号处理的重要研究方向。

水下高速目标的传统分类识别方法主要有 DEMON 谱分析法、LOFAR 谱分析法和目标运动特性分析法。DEMON 谱分析法对目标辐射噪声进行解调处理, 通过获取目标的轴频、叶频及桨叶数等特征信息进行分类识别, 对高速目标的分类识别缺乏针对性。LOFAR 谱分析法根据 LOFAR 谱线谱信息进行识别判定, 受声呐工作频段和平台自噪声的影响较大, 对高速目标的识别准确率较低。目标运动特性分析法通过目标的速度特性进行相关分

析, 但运动信息的解算时间较长, 难以满足识别的实效性要求, 且对于水下高速机动目标, 其运动轨迹与假设模型相差较大^[1]。

水下高速目标的分类识别是一个复杂的特征信息融合过程, 需要多种分类识别方法的综合运用。本文根据目标辐射噪声 DEMON 谱分析法的基本原理, 利用高速目标与非高速目标的调制频率成分差异性, 定义了目标辐射噪声的调制统计量, 提出了一种基于调制统计量的水下高速目标分类算法。通过大量实测目标辐射噪声信号分析表明, 该算法可以有效对高速目标、非高速目标进行分类识别, 为水下高速目标的综合分类识别提供一种可靠的特征信息参考。

1 DEMON 谱调制频率可分性

DEMON 分析是舰船噪声目标识别的重要分析手段之一, 可获得对舰船目标识别具有特别意义的

收稿日期: 2013-05-07; 修回日期: 2013-07-14

作者简介: 王森(1988-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为水声目标识别。

通讯作者: 王森, E-mail: wangsen0828@163.com

螺旋桨转速、螺旋桨叶片甚至舰车的车数等舰船固有物理特征。平方低通解调处理是获得目标信号 DEMON 谱的一种常规解调方法,处理流程见图 1。选择合适的低通滤波频段,可滤除目标噪声信号中干扰频率信息。

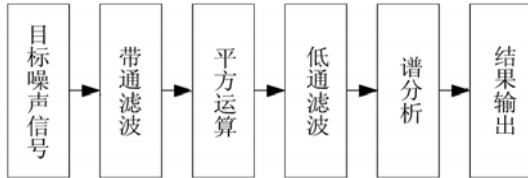


图1 DEMON 谱平方低通解调处理流程图

Fig.1 The flow chart of square demodulation of DEMON spectrum

对一个单频信号,其调制信号可以写为^[2]:

$$x_1(t) = A_1(1 + m_1 \sin \Omega_1 t) \cdot \cos \omega_1 t \quad (1)$$

其中: A_1 是信号的幅值; m_1 是调制度, 满足 $0 < m_1 < 1$; ω_1 是载频; Ω_1 是调制频率。则

$$\begin{aligned} x_1^2(t) &= A_1^2(1 + m_1 \sin \Omega_1 t)^2 \cdot \cos^2 \omega_1 t = \\ &= \frac{A_1^2}{2} + \frac{A_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t + m_1 A_1^2 \cdot \sin \Omega_1 t + \\ &= \frac{m_1^2 A_1^2}{2} \cdot \sin(2\omega_1 + \Omega_1)t - \frac{m_1^2 A_1^2}{2} \sin(2\omega_1 - \Omega_1)t + \\ &= \frac{m_1^2 A_1^2}{4} + \frac{m_1^2 A_1^2}{4} \cos 2\omega_1 t - \frac{m_1^2 A_1^2}{4} \cos 2\Omega_1 t - \\ &= \frac{m_1^2 A_1^2}{8} \cdot \cos(2\omega_1 + \Omega_1)t - \frac{m_1^2 A_1^2}{8} \cos(2\omega_1 - \Omega_1)t \end{aligned}$$

若低通滤波的截止频率 F_{lpf1} 满足下述关系:

$$\Omega_1 < F_{\text{lpf1}} < 2\omega_1 - \Omega_1$$

则经低通滤波得到目标噪声信号的调制频率成分:

$$x_1^2(t)|_{LF=F_{\text{lpf1}}} = \frac{A_1^2}{2} + \frac{m_1^2 A_1^2}{4} + m_1 A_1^2 \cdot \sin \Omega_1 t \quad (2)$$

对于另一调制频率 Ω_2 , 其调制信号不妨写为 $x_2(t) = A_2(1 + m_2 \sin \Omega_2 t) \cdot \cos \omega_2 t$ (3)

对其平方低通解调, 截止频率满足 $F_{\text{lpf2}} = F_{\text{lpf1}}$ 。当调制频率满足 $\Omega_2 > F_{\text{lpf2}} > \Omega_1$ 时, 则其调制频率成分为

$$x_2^2(t)|_{LF=F_{\text{lpf2}}} = \frac{A_2^2}{2} + \frac{m_2^2 A_2^2}{4} \quad (4)$$

对比式(2)、(4)发现, 采用相同的截止频率, 高频调制信号的 DEMON 谱中仅包含直流分量, 无调制频率的一次谐波成分。也就是说, 通过选择合适的低通滤波门限, 就可以根据 DEMON 谱中频率成分的差异达到区分不同调制频率信号的目的。

2 调制统计量分类算法

调制统计量分类算法是一种基于传统 DEMON

谱分析法基本原理的针对高速目标的分类识别算法。其流程如图 2 所示。

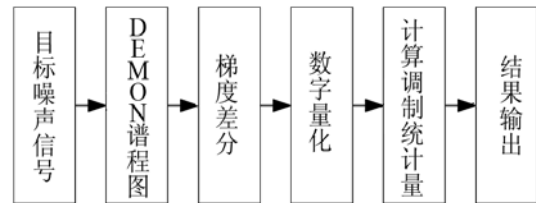


图2 调制统计量算法流程图

Fig.2 The flow chart of the classification method based on modulation statistics

对一目标辐射噪声信号 $x(t)$, 按时间历程分别求得 M 个长度为 N 的 DEMON 谱序列, 绘制其 DEMON 谱历程图, 可得到其 DEMON 历程矩阵 \mathbf{X} :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} f(1,1) & \cdots & f(1,N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (5)$$

对 \mathbf{X} 进行梯度差分, 得

$$\mathbf{X}' = \begin{bmatrix} f'(1,1) & \cdots & f'(1,N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f'(M,1) & \cdots & f'(M,N) \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (6)$$

其中:

$$f'(m,n) = \begin{cases} f(m,n), & m=M \\ |f(m+1,n) - f(m,n)|, & m < M \end{cases} \quad (7)$$

$m \in \{1, 2, \dots, M\}$, $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ 。

定义量化矩阵 \mathbf{X}'' 为

$$\mathbf{X}'' = \begin{bmatrix} s(1,1) & \cdots & s(1,N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s(M,1) & \cdots & s(M,N) \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (8)$$

其中:

$$s(m,n) = \begin{cases} 2, & \Delta f(m,n) \geq \lambda \cdot T \\ 1, & \lambda \cdot T > \Delta f(m,n) \geq T \\ 0, & \Delta f(m,n) < T \end{cases} \quad (9)$$

$m \in \{1, 2, \dots, M\}$, $n \in \{1, 2, \dots, N\}$; λ 是幅值比例系数, 满足 $\lambda > 1$; T 是梯度差值门限。

目标辐射噪声的调制统计量 K 即可定义为

$$K = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=N_1}^{N_2} s(m,n)}{M \cdot N} \quad (10)$$

其中, N_1 、 N_2 是 DEMON 调制统计量的起、止计算频率。

调制统计量是衡量目标噪声信号 DEMON 谱历程图中调制频率分布情况的重要参数。选择合适的梯度差值门限 T , 通过计算比较不同目标辐射噪声的调制统计量差异, 达到实现目标分类识别的效果。

3 实测信号分析

选择某高速目标 A 和某非高速目标 B 的辐射噪声，应用调制统计量分类识别算法进行分析，分别绘制两目标辐射噪声 DEMON 谱历程图及不同门限条件下的量化矩阵灰度图，如图 3、4 所示。图中纵坐标为信号时长，横坐标为归一化后的 DEMON 谱分析频段频率。

对比图 3、图 4 可以看出，非高速目标 B 相对于高速目标 A 而言，其 DEMON 谱历程图中调制

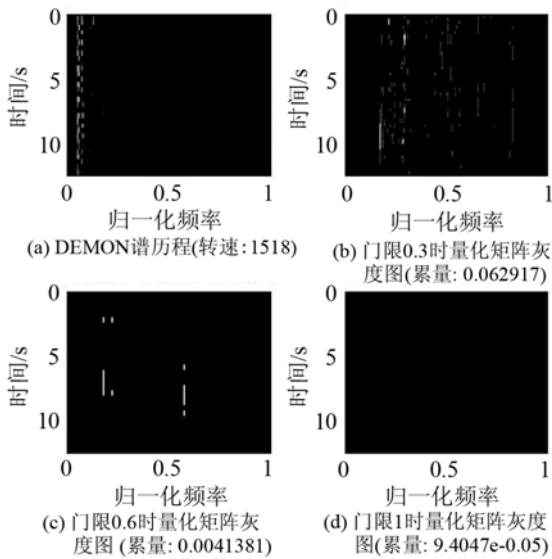


图 3 某高速目标 A 历程图及不同门限下的量化矩阵灰度图
Fig.3 The DEMON process maps and grayscale images of quantization matrix with different thresholds for a high speed target

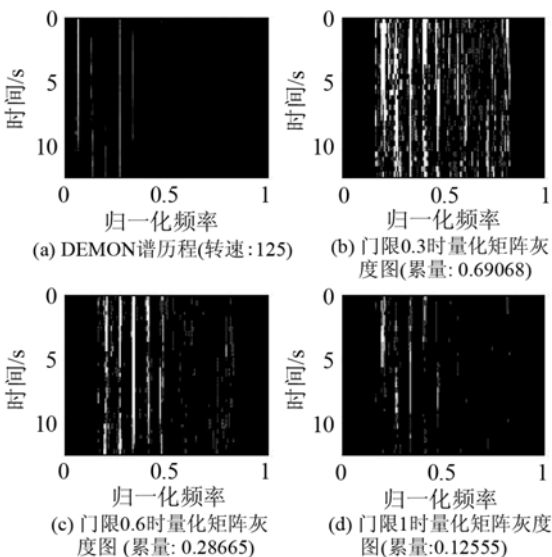


图 4 某非高速目标 B 历程图及不同门限下的量化矩阵灰度图
Fig.4 The DEMON process maps and grayscale images of quantization matrix with different thresholds for a non-high speed target

频率成分更加丰富。调制统计量分类识别算法处理后，随着门限值的提高，非高速目标 B 量化矩阵中的线谱信息逐渐减少，调制统计量值逐渐降低，但均远高于同门限条件下的高速目标 A 的量化矩阵调制统计量。即，应用调制统计量分类识别算法处理后，高速目标 A 与非高速目标 B 具有明显的特征可分性。

4 目标信号库分析

选取 118 个高速目标、131 个非高速目标的辐射噪声信号，应用调制统计量分类识别算法进行分析后，分别绘制高速目标和非高速目标的统计柱状图如图 5~7 所示，最大最小值见表 1~3。

分析图 5 及表 1 可以看出，门限值取 0.3 时，

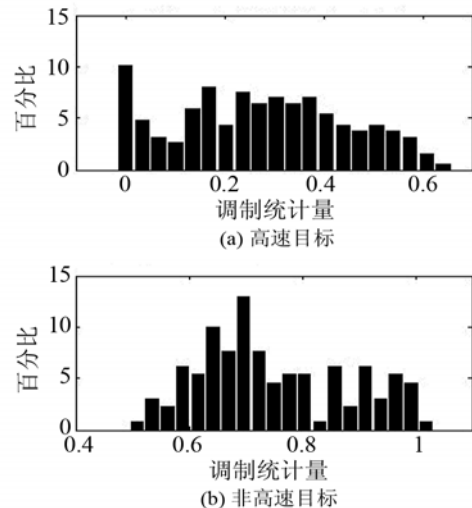


图 5 门限 0.3 时高速目标与非高速目标调制统计量分布图
Fig.5 The histograms of modulation statistics of high and non-high speed targets when the threshold is 0.3

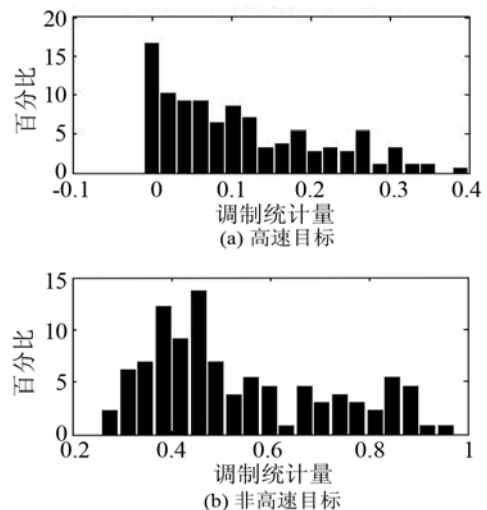


图 6 门限 0.6 时高速目标与非高速目标调制统计量分布图
Fig.6 The histograms of modulation statistics when the threshold is 0.6

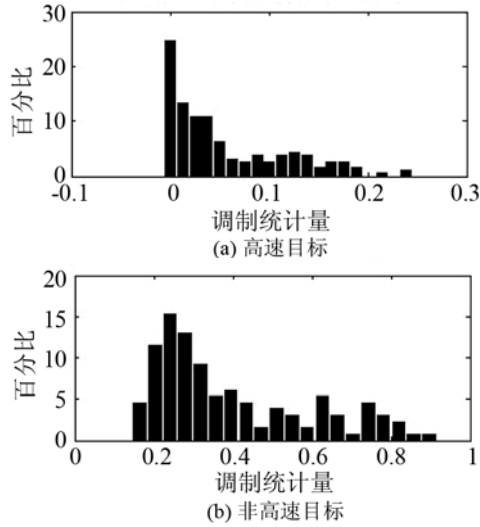


图 7 门限 0.9 时高速目标与非高速目标调制统计量分布图

Fig.7 The histogram of modulation statistics when the threshold is 0.9

表 1 门限 0.3 时调制统计量

Table 1 The modulation statistics when the threshold is 0.3

目标类型	最大值	最小值	平均值	标准差
高速目标	0.64204	0	0.27281	0.17223
非高速目标	1.0191	0.50864	0.74864	0.13045

表 2 门限 0.6 时调制统计量

Table 2 The modulation statistics when the threshold is 0.6

目标类型	最大值	最小值	平均值	标准差
高速目标	0.38984	0	0.11035	0.097791
非高速目标	0.95549	0.27571	0.53619	0.18085

表 3 门限 0.9 时调制统计量

Table 3 The modulation statistics when the threshold is 0.9

目标类型	最大值	最小值	平均值	标准差
高速目标	0.23878	0	0.055034	0.058871
非高速目标	0.89631	0.16398	0.39699	0.19458

高速目标随调制统计量变化呈递减分布,非高速目标在调制统计量取值 0.7 附近分布较为集中,高速目标调制统计量值均值小于非高速目标,即该门限值条件下,高速目标与非高速目标具有可分性。

分析图 6 及表 2 可以看出,门限值取 0.6 时,高速目标随调制统计量变化呈递减分布,非高速目标在调制统计量取值 0.4 附近分布较为集中,高速目标调制统计量值均值小于非高速目标,即该门限值条件下,高速目标与非高速目标具有可分性。

分析图 7 及表 3 可以看出,门限值取 0.9 时,高速目标随调制统计量变化呈递减分布,非高速目标在调制统计量取值 0.22 附近分布较为集中,高速目标调制统计量值均值小于非高速目标,即该门限值条件下,高速目标与非高速目标具有可分性。

根据分析结果,计算各门限值条件下高速目标与非高速目标的检测概率,如表 4 所示。

表 4 可以看出,应用调制统计量算法对库中目

表 4 高速目标与非高速目标在不同门限下的检测概率

Table 4 The detection probabilities of high and non-high speed target under different thresholds

门限值	高速目标	非高速目标	调制统计量
门限 0.3	100%	11%	<0.60
	90%	1%	<0.50
门限 0.6	100%	26%	<0.39
	90%	2%	<0.27
门限 0.9	100%	21%	<0.22
	90%	1%	<0.16

标辐射噪声信号进行分类识别,门限值取 0.3 时分类识别效果较好。此时,高速目标中的 100%、非高速目标中的 11%符合调制统计量小于 0.60 的识别门限条件;高速目标中的 90%、非高速目标中的 1%符合调制统计量小于 0.50 的识别门限条件。

5 结 论

本文通过使用调制统计量分类识别算法,研究了高速目标与非高速目标的调制频率差异性特征,得出了如下结论:

(1) 传统 DEMON 谱分析方法中,选择合适的低通滤波门限,不仅可以滤出调制信号中的干扰频率成分,还可以对两类具有不同调制频率特征的信号进行筛选分类。

(2) 利用高速目标与非高速目标在调制频率上的差异性,使用调制统计量分类识别算法,当虚警概率为 1%时,对鱼雷目标的识别率可以达到 90%,可以有效地对两类目标进行分类识别。

参 考 文 献

- [1] 江向东. 水下高速目标多传感器联合谱特征分布识别方法[J]. 舰船科学技术, 2012, 34(4): 86-88.
JIANG Xiangdong. Line spectrum distribute based high speed underwater target classification method[J]. Ship Science and Technology, 2012, 34(4): 86-88.
- [2] 程玉胜, 戴卫国, 史广智. 船舶噪声目标识别 DEMON 分析中的几个问题[J]. 潜艇学术研究, 2002, 20(6): 22-25.
CHENG Yusheng, DAI Weiguo, SHI Guangzhi. Several matters of analysis of DEMON spectrum in recognition of ship radiated noise[J]. Submarine Academic Research, 2002, 20(6): 22-25.
- [3] 程玉胜, 王易川, 史广智, 等. 基于现代信号处理技术的船舶噪声信号 DMEON 分析[J]. 声学技术, 2006, 25(1): 71-74.
CHENG Yusheng, WANG Yichuan, SHI Guangzhi, et al. Analysis of ship radiated noise DEMON spectrum based on modern signal processing[J]. Technology Acoustics, 2006, 25(1): 71-74.
- [4] 周楠. 水下高速航行体辐射噪声检测及特征提取技术[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
ZHOU Nan. Detection and feature extraction of radiated noise from high speed underwater target[D]. Harbin: Harbin Engineering University. 2011.
- [5] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetic, 1979, 9(1): 62-66.