

目标噪声响度特征提取技术研究

柳革命¹, 杨益新²

(1. 空军工程大学理学院, 西安 710051; 2. 西北工业大学声学工程研究所, 西安 710077)

摘要: 考虑声纳员听音判型过程中, 目标噪声的响度变化是其判型的重要依据, 计算目标噪声信号的响度, 提取其响度特征, 基于响度特征对三类目标进行分类识别。设计神经网络分类器, 实测数据验证了基于响度的目标特征提取方法是有效的, 并分析了响度特征和能量特征的区别, 说明了三类目标噪声响度特征较能量特征分布的集中度好, 有利于提高分类识别的正确概率。

关键词: 响度, 特征提取, 被动声纳目标识别

中图分类号: TB566

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2011)-04-0336-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2011.04.008

Loudness feature extraction of underwater passive sonar targets

LIU Ge-ming¹, YANG Yi-xin²

(1. Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710077, China)

Abstract: The loudness of underwater targets' noise is an important parameter for a sonar operator to classify targets. In the paper, a simple algorithm of specific loudness is proposed. A set of loudness features is extracted, and the classification experiment for three different kinds of targets performed. The results show that the feature extraction method based on the specific loudness of noise signal is useful for underwater target recognition. The difference between loudness features and energy features is also analyzed, and it is shown that the convergence of loudness features is better than the latter.

Key words: loudness, feature extraction, passive sonar target recognition

0 引言

在舰船目标分类识别研究中, 如何提取噪声信号的特征一直是研究的重点。结合声纳员的听测经验或把人耳的听觉特点引入目标噪声信号的特征提取中, 具有一定的效果^[1,2]。国外对声纳员的听音特点、机理、影响的因素等较早就进行了研究^[3]。在听音判型时, 声纳员主要从音调、响度、音色等方面对噪声进行主观感觉, 进而对目标做出判型^[4], 往往准确率较高。因此, 研究听觉特征对目标的分类识别将非常有意义。

响度, 又称声强, 它表示的是声音能量的强弱程度, 是主观上判断声音大小强弱的一种标度, 主要取决于声波振幅的大小, 同时与声音的频率、时长等因素有关系。为了描述这一心理感受, 定义 1000Hz、40dB 的纯音的响度为 1 宋(Sone)^[5]。此响度单位可以直接进行加减运算。响度是声音的主观

心理量, 而强度是声音的客观物理量。不同频率的纯音跟 1000 Hz 的这个声级纯音等响时的声级是不同的, 这些不同声级作为频率函数所形成的曲线, 称为等响度曲线^[5]。

声纳员的听觉感受, 很重要的一点是声纳员对目标噪声节奏的分析判断, 而目标噪声节奏的变化主要体现在目标噪声信号的响度变化上。本文从研究量化目标噪声信号响度入手, 探索提取目标噪声信号的响度特征, 对目标进行分类识别。

1 响度的量化模型及简化算法

噪声信号往往包含多种频率分量, 从听觉的角度对噪声信号进行量化, 就涉及到响度的计算。响度的计算方法主要有 Zwicker 算法、ERB 算法和斯蒂文森算法等, 其中 Zwicker 计算方法为经典的计算方法。

1.1 Zwicker 响度算法^[5]

Zwicker 算法在计算响度时要考虑声音的掩蔽效应, 分析频域掩蔽效应的一个重要物理量是临界频带, 其单位为巴克(Bark), 1 Bark 等于一个临界

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-03-27

作者简介: 柳革命(1968-), 男, 山西夏县人, 博士, 研究方向为水声目标识别技术研究。

通讯作者: 柳革命, E-mail: liugm97@nwpu.edu.cn

频带宽度。通常把 20 Hz~16 kHz 的频率范围划分为 24 个临界频带,频率小于 500 Hz 时,临界频带 1 Bark 带宽约等于 100 Hz;频率大于 500 Hz 时,1 Bark 带宽为该临界频带中心频率的 20%。其准确的转换公式为

$$z=13 \arctan(0.00076f)+3.5 \arctan(f/7500)^2 \quad (1)$$

因此,在 20 Hz~16 kHz 的范围内有 24 个临界频带,其频率范围和中心频率如表 1 所示,表中 SPL 表示在等响曲线上各临界中心频率对应的听阈声压级。

表 1 临界频带
Table 1 Critical bandwidth

序号	频带范围/Hz	中心频率/Hz	SPL/dB
1	0~100	50	41
2	100~200	150	20
3	200~300	250	11
...
5	400~510	450	8
6	510~630	570	7
...
17	3150~3700	3400	-2
18	3700~4400	4000	-3
...

特性响度是基于指数定律得到的,反映声音能量的变化。24 段临界频带内的特性响度模拟了人耳听觉的非线性分辨特性,反映了声音信号的大量且重要的特征信息,更接近于人的主观感受。特性响度值 (Sone/Bark) 的计算公式如下:

$$N'(z)=0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0.23} \left[\left(0.5+0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} -1 \right] \quad (2)$$

式中 E_{TQ} 为安静状况下听阈对应的激励; E 为被计算声音对应的激励; E_0 为参考声强 $I_0=10^{-12}$ (W/m²) 对应的激励。

总响度是 24 段临界频带内的特性响度的总和,忽略了声音能量的变化趋势,仅是一段时间声音主观感受的能量幅值,在 0~24 Bark 上对 $N'(z)$ 积分得总响度,特性响度曲线围成的面积即响度,计算公式如下:

$$N=\int_0^{24} N'(z)dz \quad (3)$$

1.2 响度计算的简化算法

由于计算目标噪声信号对应的激励复杂,本文在式(2)的基础上,对计算目标噪声信号的特征响度的方法进行了简化。式(2)中有 3 个重要参数, E_{TQ} 为安静状况下听阈对应的激励, E 为被计算声音对

应的激励, E_0 为参考声强 $I_0=10^{-12}$ (W/m²) 对应的激励。这 3 个参数按照 E_{TQ}/E_0 、 E/E_{TQ} 两个比值参与运算。激励在声振动中是一个能量的概念,为计算方便,设一个常数 A , 令

$$A=\frac{E_{TQ}}{E_0} \quad (4)$$

对不同的噪声信号,声纳员内耳基底膜是不变的,因此能量与声强成线性关系,有:

$$A=\frac{E_{TQ}}{E_0}=\frac{I_{TQ}}{I_0} \quad (5)$$

其中 I_{TQ} 为安静状况下听阈对应声音信号的声强。设在等响曲线中听阈对应的声强级为 Y , 则

$$A=\frac{E_{TQ}}{E_0}=\frac{I_{TQ}}{I_0}=10^{\frac{Y}{10}} \quad (6)$$

进一步可得

$$E_{TQ}=E_0 \times 10^{\frac{Y}{10}} \quad (7)$$

将式(6)、(7)代入式(2),得到简化的计算目标噪声信号的特征响度的公式为

$$N'(z)=0.08 \left(10^{\frac{Y}{10}} \right)^{0.23} \left[\left(0.5+0.5 \frac{E}{E_0 10^{\frac{Y}{10}}} \right)^{0.23} -1 \right] \quad (8)$$

考虑 40 dB 的 1000 Hz 纯音信号的响度定义为 1 Sone, 等响曲线上听阈对应的声压级为 5 dB, 计算中心频率为 1000 Hz 的临界频带内信号的能量,代入式(8),即可求出常数: $E_0=1.8703 \times 10^{-5}$ 。

2 目标特征提取

根据等响曲线,可得 24 个临界频带中心频率对应的听阈声强级 Y (近似值)。提取给定目标噪声信号的响度特征,首先对噪声信号进行预处理^[6];其次对噪声信号求 FFT,计算出每个临界频带中信号的能量,即各临界频带的能量 E ;最后根据式(8)计算出各临界频带的特性响度值。这些特性响度值就可组成目标噪声信号的 24 维特征矢量。

在实际应用中,考虑到声纳员对 5000 Hz 以上的频率不敏感,因此只计算到第 19 个频带,即中心频率为 4800 Hz。同时,100 Hz 以下信号听阈对应的声压级远高于其它频率,所以对第 1 个频带 (0~100 Hz) 的响度值进行归零处理,不计入响度特征矢量,这样特征响度值为一个 18 维特征矢量。

依据一定的样本,统计三类目标响度特征,其均值、方差比较如图 1、2 所示。结合均值与方差图可以看出,利用响度特征对目标进行分类,可分性较好。

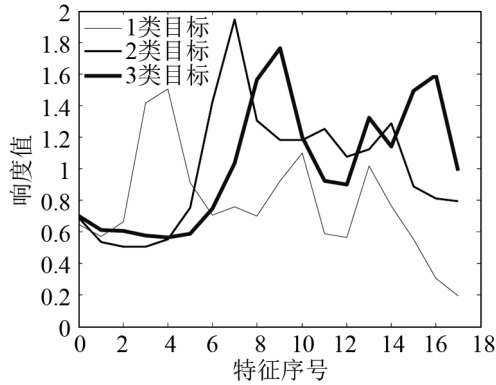


图1 三类目标响度特征均值

Fig.1 Means of loudness feature for three kinds of targets

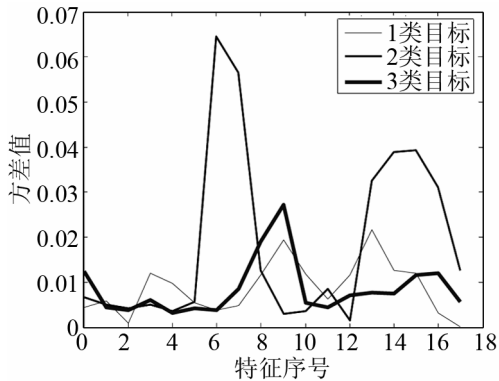


图2 三类目标响度特征方差

Fig.2 Variances of loudness feature for three kinds of targets

3 目标分类实验及分析

3.1 分类实验

提取目标噪声的响度特征矢量作为目标分类的识别特征，以一定的样本进行实验，验证这一提取方法是否有效。

分类器采用 BP 神经网络分类器，结构为 $18 \times 5 \times 3$ ，其中输入层节点数等于输入样本特征维数 18，隐含层节点数为 5，输出层节点数为类型数 3，期望输出矢量为与该类型对应的输出节点的输出值为 1，而其他输出节点的输出值为 0，即三类的期望输出矢量分别为 $[1\ 0\ 0]$ 、 $[0\ 1\ 0]$ 、 $[0\ 0\ 1]$ ，如果输出矢量中 1 的数目大于 1 个或全为 0，则认为对应的输入不能识别。

将声纳员训练的录音数据库数据进行分类处理，共包含 I、II、III 类模式。对样本数据分别进行响度特征提取，分别形成了代表 360 个样本的 360 组响度特征矢量，用 60 组(每个类别 20 组)特征矢量数据训练设计的分类器，训练的目标误差设为 0.001，特征矢量训练到 180 次时，训练完成，正确的分类概率为 100%，训练过程如图 3 所示。从图 3 可以看出，该组特征的收敛性非常好。

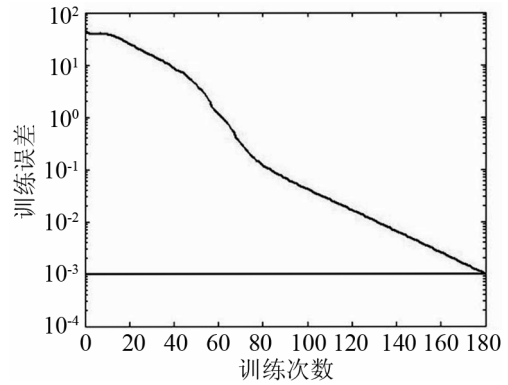


图3 响度特征分类器的训练过程

Fig.3 Training process of loudness feature classifier

利用剩余的 300 组特征矢量对两种倒谱方法分别进行测试，分类结果为 I、II、III 类和不能识别(指分类器输出为 $[0\ 0\ 0]$ 、 $[1\ 1\ 0]$ 、 $[0\ 1\ 1]$ 或 $[1\ 1\ 1]$ ，根据判断准则，不能判断其为三类中的任何一类)四种，其实验结果如表 2 所示。

表 2 响度特征矢量实验数据分类结果

Table 2 Classification results of loudness feature experiment data

目标类别	测试样本数	响度特征识别结果				识别率 %	总识别率 %
		I	II	III	不能判别		
I	100	86	1	3	10	86.0	
II	100	4	91	5	0	91.0	86.3
III	100	3	4	82	9	82.0	

从实验结果看出，基于响度特征的目标分类效果良好，表明提取目标的响度特征矢量作为识别特征对目标进行分类，这一特征提取方法是有效的。

3.2 结果分析

在计算响度特征时，用到了临界频带能量的概念，也可利用临界频带能量组成特征矢量对目标进行分类。基于同样的样本数据，利用能量特征进行分类实验，总的识别概率为 76%，此结果与利用响度特征进行分类实验的结果有明显的差距。统计三类目标能量特征，其均值、方差比较如图 4、5 所示。

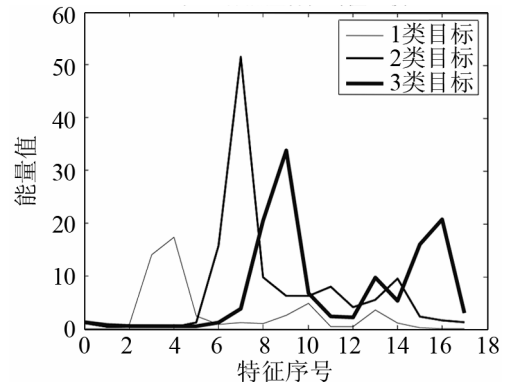


图4 三类目标能量特征均值

Fig.4 Means of energy feature for three kinds of targets

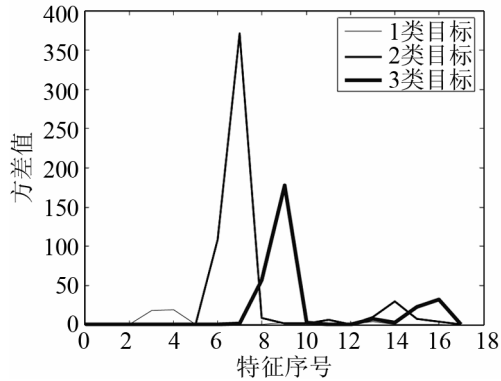


图5 三类目标能量特征方差

Fig.5 Variances of energy feature for three kinds of targets

从图4中可以看出三类目标能量沿着频率分布具有差异性,这是我们对它分类的基础。从图5中看出这三类目标的能量特征方差较大,说明分布的集中度不好,不利于取得较高的识别概率。图5和图2形成鲜明的对比,图2表明基于响度特征三类目标的方差小,分布集中度高,因此相对能量特征取得了较高的识别概率。

4 结论

综合基于目标噪声信号响度的特征提取方法和分类实验结果及分析,可得出如下结论:

(1) 基于响度的被动声纳目标特征提取方法在被动声纳目标分类识别中是有效的。

(2) 能量特征本质上反映信号的能量在临界频带上的分布,数值上起伏较大;响度特征本质上是

能量特征听觉感受的反映,数值上起伏相对较小。

(3) 特征的方差反映了在同一类样本中单个样本特征的一致性,能量特征的方差较大,而响度特征的方差明显要小,说明在三类目标中,响度特征的同类一致性较能量特征好,也就是说同一类目标的特征更集中,因此更有利于分类。

参 考 文 献

- [1] 李训浩,冯欣欣,等.舰船辐射噪声的动态识别[J].声学学报,2002,27(5):443-448.
LI Xunhao, FENG Xinxin, et al. Moveable state recognition from ship-radiated noise[J]. Acta Acustica, 2002, 27(5): 443-448.
- [2] 柳革命,孙超,刘兵.基于线性预测倒谱的波动声纳目标特征提取技术[J].应用声学,2007,26(5):277-281.
LIU Geming, SUN Chao, LIU Bin. Technique of passive sonar target feature extraction based on LPC cepstrum[J]. Applied Acoustics, 2007, 26(5): 277-281.
- [3] Wohl G Joseph. Individual Differences in sonar operator decision performance[C]// Proceedings of the 1984 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics., Halifax, NS, Can. P202-205
- [4] 李云山.谈谈怎样利用被动声纳判型[J].潜艇学术研究,1998(4):29-31.
- [5] Zwicker E, Fastl H. Psychoacoustics facts and models[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
- [6] 柳革命,孙超,杨益新.两种倒谱特征提取技术在水声目标识别中的应用[J].西北工业大学学报,2008,26(3):276-281.
LIU Geming, SUN Chao, YANG Yixin. Feature of passive sonar target based on two cepstrums[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2008, 26(3): 276-281.