

Research on Loudness Feature Translation Stability of Ship Radiated Noise

Xiaole Su, Yang Lv, Qingwei Han

Naval Petty Officer Academy, Bengbu Anhui
Email: 18655273708@163.com

Received: Oct. 30th, 2019; accepted: Nov. 14th, 2019; published: Nov. 21st, 2019

Abstract

Feature extraction is an important preliminary work for target recognition and classification. It is particularly important to extract stable features from channel distortion. Firstly, based on the basic theory of human hearing, this paper extracts the loudness feature of the ship's radiation noise. Secondly based on the ray theory, the multi-path parameters of the channel are obtained by MATLAB simulation. Finally, the ship's radiation noise is processed through the multi-channel, and the loudness feature of different channels is extracted and compared. The results show that when the ship noise propagates in shallow sea multi-path channel, its loudness characteristic is larger and more complex when the propagation distance is large. The influence of receiving depth on the loudness characteristic is much smaller, and the change of sound velocity gradient will also have a greater impact on the loudness characteristic. It shows that loudness feature is not a stable and reliable recognition feature, which deserves attention in sonar target recognition.

Keywords

Loudness Feature, Feature Stabilization, Ship Radiated Noise

舰船辐射噪声响度特征传播稳定性研究

苏晓乐, 吕 杨, 韩庆伟

海军士官学校, 安徽 蚌埠
Email: 18655273708@163.com

收稿日期: 2019年10月30日; 录用日期: 2019年11月14日; 发布日期: 2019年11月21日

摘 要

特征提取是目标识别与分类的重要前期工作, 从信道畸变之中提取稳定特征对于目标识别来说尤为重要。本文首先基于人耳听觉的基本理论, 提取了舰船辐射噪声的响度特征; 接着基于射线理论, 利用MATLAB

仿真得到了信道的多途参数；最后将舰船辐射噪声通过多途信道作用，提取不同信道作用后的响度特征并进行对比分析。研究表明，舰船噪声在浅海多途信道中传播时，传播距离增大对其响度特征的影响较大也较复杂；接收深度的改变对响度特征的影响就相对小很多；声速梯度的改变也会对响度特征产生较大的影响。说明响度特征并不是一种稳定可靠的识别特征，这一点在声纳目标识别中值得注意。

关键词

响度特征，特征稳定性，舰船辐射噪声

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

特征提取是目标识别与分类的重要前期工作[1] [2]。

本文通过构建简单的时不变相干多途信道模型，仿真研究了舰船辐射噪声响度特征在信道中传播的稳定性问题[3] [4]，为从信道畸变之中提取稳定特征用于目标识别做了初步的探索。

2. 听觉特征分析

2.1. 人耳听觉的基本概念

人耳的辨别能力取决于听觉器官和大脑的神经系统，在人的听觉系统中，频率分析最为重要的，定量的描述可以用临界带宽和分辨率[5]。

2.2. 响度的量化处理

响度，是人耳对于声音强度大小(或强弱)的一种主观度量，其大小受到声音本身物理量值的影响，同时也受到个体听觉系统的影响。因此，衡量响度的大小通常是对声音强度的一种心理感受作的定量处理。通常，定义频率为 1000 Hz、40 dB 的信号为 1 宋，作为响度单位，响度级是将响度与响度单位的比值取对数后的数值，因此响度与响度级是两个不同的概念，两者的计算关系为：

$$N = 0.063 \times 10^{0.03L}$$

$$L = 33.33 \times \lg N + 40$$

舰船辐射噪声为宽带信号，通用的响度计算参考为 Zwicker 方模型[6]、ERB 模型[7]和斯文森模型[8]。

采用 Zwicker 模型，应当考虑掩蔽效应对舰船辐射噪声响度的影响，临界频带是分析和计算频域掩蔽效应的重要物理量。一般，定义 1 Bark 为临界频带单位宽度，其与频率的计算关系为：

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

按照以上公式，可在 20 Hz 至 16 kHz 之间计算得到 24 个临界频带。

3. 基于响度的特征提取

3.1. 特征响度的计算

特征响度可以模拟人耳听觉系统的非线性感知特点，其更能反映声纳员在听测舰船噪声过程中的主

观心理感受。特征响度的计算方法为[6]:

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

式中 E_{TQ} 对应的激励是指人耳在安静情况下的数值; E 对应的激励是被计算对象的数值; E_0 对应的激励是 $I_0 = 10^{-12} (\text{w/m}^2)$ 的数值。全部临界频带内的特征响度总和计算公式如下:

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

3.2. 响度特征的提取

计算特征响度值, 涉及的重要参数有 3 个, E_{TQ} 、 E 和 E_0 。设一个常数 A , 令 $A = E_{TQ}/E_0$ 。

对不同的舰船噪声信号声纳员个人的内耳基底膜是不变的, 因此声音能量与声音的强度成线性关系, 有:

$A = E_{TQ}/E_0 = I_{TQ}/I_0$, 设对应声强级为 Y , 可得

$$A = E_{TQ}/E_0 = I_{TQ}/I_0 = 10^{Y/10}$$

则: $E_{TQ} = E_0 \times 10^{Y/10}$, 计算舰船噪声信号特征响度的公式:

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

提取特征响度的步骤: 对噪声信号求 FFT; 将噪声信号的 FFT 划分为 24 个临界频带, 求取各临界频带的能量 E ; 确定各临界频带的听阈声强级, 即可求得特征响度。

4. 响度特征浅海传播仿真

4.1. 仿真实验条件及参数说明

利用射线模型, 计算浅海多途参数并构建不同传播距离、接收深度和声速梯度的信道滤波器函数, 将声纳实际录取的舰船辐射噪声通过该滤波器, 进行信号特征在浅海多途信道中的传播仿真实验[9][10]。

海深 200 m, 海面为绝对平面, 声源深度 20 m; 仿真实验所用信号为两类声纳实际录取舰船辐射噪声采样频率为 44,100 Hz, 时长 10 s, 信号调制节奏明显, 噪声干扰较小, 信号质量较好。

4.2. 浅海信道仿真

浅海信道环境参数如 4.1 节所设, 声速梯度为(1530~1490 m/s)的负梯度。计算在不同传播距离和接收深度信道的系统函数, 图 1 中接收器深度为 25 m, 图 2 中接收器离开声源的距离为 5 km。

图 1 和图 2 给出了在不同的传播距离和接收深度处, 自声源到接收点之间信道的传递函数的幅频响应, 信号通过信道后的变化是信号与传递函数的卷积。

4.3. 实录舰船噪声响度特征传播

仿真实验浅海信道条件及信号参数如 4.1 所述, 仿真分析声纳实际录取的舰船噪声响度特征在不同传播距离、接收深度和声速梯度下的传播特性[11][12]。

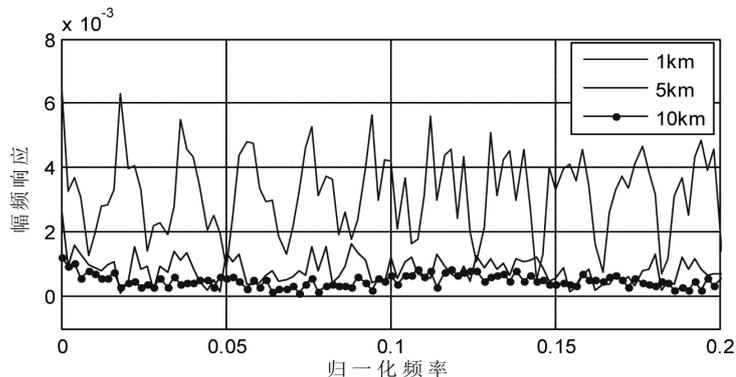


Figure 1. Frequency characteristics of system functions with different propagation distances
图 1. 不同传播距离信道的系统函数的幅频特性

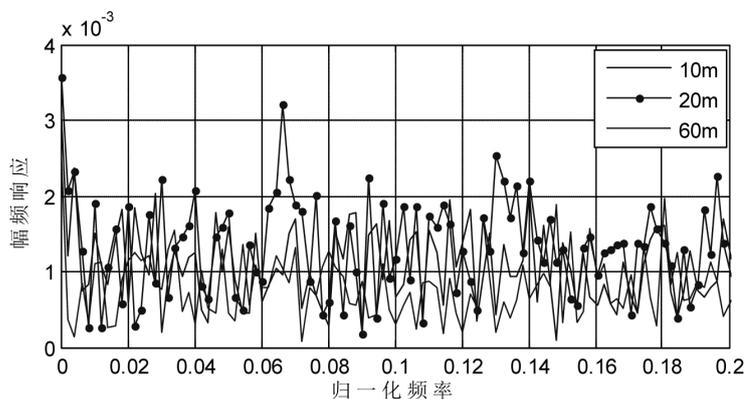


Figure 2. Frequency characteristics of system functions with different receiving depths
图 2. 不同接收深度信道的系统函数的幅频特性

1) 传播距离: 声速梯度为(1530~1490 m/s)的负梯度, 接收器深度 20 m。

图 3 以条棒形式给出了不同接收距离处噪声信号的响度特征, 随着接收距离的增大, 由于信道的多途效应, 响度特征在临界频带上的分布也发生变化。且从图中可以发现, 在 10 km 以内响度特征的变化剧烈, 10 km 以外变化很缓和, 也就是说当信号传播到远处时其响度特征变得相对稳定。

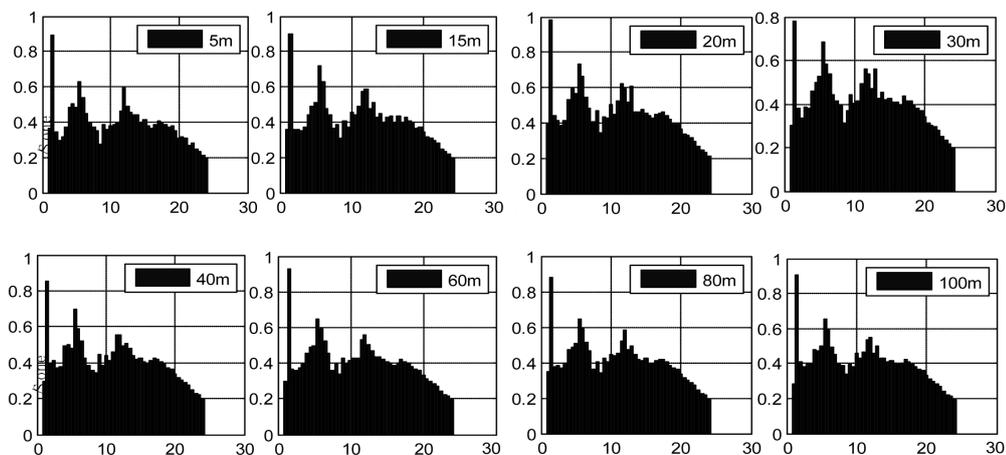


Figure 3. Record the loudness of ship noise at different propagation distances
图 3. 实录舰船噪声在不同传播距离处的响度值

2) 接收深度: 声速梯度为(1530~1490 m/s)的负梯度, 传播距离 3 km。

图 4 给出了不同接收深度处噪声信号的响度值, 随着接收深度的增大, 尽管受到信道的衰减效应和多途效应的影响, 响度特征的幅度以及其在临界频带上的分布并没有大的起伏变化, 也就是说当信号在深度变化的信道中传播时其响度特征相对稳定。

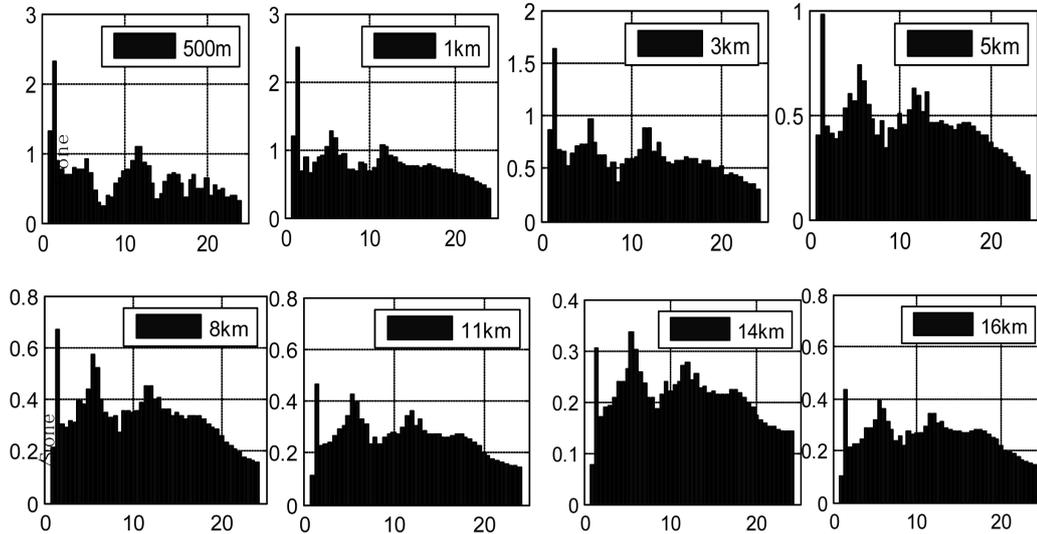


Figure 4. Record the loudness of ship noise at different reception depths

图 4. 实录舰船噪声在不同接收深度处的响度值

3) 声速梯度: 声速梯度为(1530~1490 m/s)的负梯度、(1490~1530 m/s)的正梯度。

图 5 给出了不同声速梯度中噪声信号的响度特征, 对于给定的多途信道(距离 5 km 深度 20 m 和距离 10 km 深度 30 m), 当其声速梯度变化引起信道参数的改变时, 信道对舰船噪声信号的响度特征的影响并不一致。即声速梯度改变时, 噪声信号的响度特征是不稳定的, 声速梯度的改变会对舰船辐射噪声的响度特征产生较大的影响。

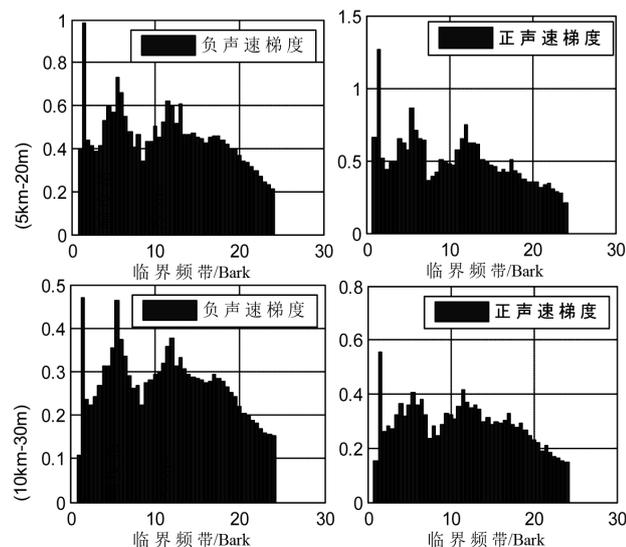


Figure 5. Record the loudness of ship noise at different sound velocity gradient

图 5. 实录舰船噪声在不同声速梯度下的响度值

5. 结束语

本文将实录舰船辐射噪声信号通过仿真的浅海多途信道，在不同传播距离、不同接收深度、不同声速梯度下提取实录舰船噪声的听觉响度特征，对比分析舰船辐射噪声传播过程中如何受到多途信道的影响和畸变作用，研究表明：

舰船噪声在浅海多途信道中传播时，传播距离增大对其响度特征的影响较大也较复杂，接收深度的改变对响度特征的影响就相对小很多，声速梯度的改变也会对响度特征产生较大的影响，说明响度特征并不是一种稳定可靠的识别特征，这一点在声纳目标识别中值得注意。

参考文献

- [1] 余秋星, 李志舜. 舰船辐射噪声的特征提取[J]. 鱼雷技术, 2002, 10(2): 10-12.
- [2] 张福生. 被动目标特征提取研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
- [3] 赵春梅, 宋俊, 等. 包络谱传播特性仿真研究[J]. 声学技术, 2008, 27(5): 132-133.
- [4] 赵春梅, 吴国清, 等. 噪声掩盖下包络谱传播特性仿真研究[J]. 声学技术, 2008, 27(5): 212-217.
- [5] 包永强, 周晓彦, 赵力, 等. 人耳对不同频率成分分离知觉的定量分析[J]. 声学技术, 2004, 23(2): 106-108.
- [6] 王娜. 基于人耳主观反应的听觉特征量及其在目标识别中的应用[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [7] Stevens, S.S. (1957) Concerning the Form of the Loudness Function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **29**, 603-606. <https://doi.org/10.1121/1.1908979>
- [8] Abarbanel, H.I. (1993) The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical System. *Review of Modern Physics*, **65**, 1133-1388. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.65.1331>
- [9] 范敏毅. 水声信道的仿真与应用研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2000.
- [10] 孙枕戈. 分层海洋中本征声线的快速计算[J]. 应用声学, 1997, 16(4): 7-12.
- [11] 赵春梅, 宋俊, 吴国清. 包络谱传播特性仿真研究[J]. 声学技术, 2008, 27(5): 132-133.
- [12] 杨日杰, 李淑华, 张宗玉. 鱼雷辐射噪声传播特性的仿真[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(2): 204-206.