

海底辐射噪声的统计学特性研究分析

吴白旺

(重庆科创职业学院 重庆 永川 402160)

摘要: 在复杂的海洋环境中,各种不同用途的船舶要互相通信,就不可避免发生干扰。这些干扰源可能来自海底的地震、船舶螺旋桨的振动或其他船舶的雷达设备。而海底的辐射噪声常常会导致船舶之间的通信发生故障,只有有效抑制背景噪声,减少背景噪声,才能提升船只航行的安全性能。本文研究海洋海底辐射噪声的主要来源,结合非平稳噪声特性估计算法,对噪声信号进行优化分类。通过对噪声信号的功率进行估算,得到噪声的粗略估计。在 Matlab 中计算得到噪声估算曲线,验证此算法的合理性。

关键词: 海底噪声; 辐射; 估算

中图分类号: U661.44 文献标识码: A

文章编号: 1672-7649(2016)12A-0115-03 doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2016.12A.039

Research on statistical characteristics of submarine radiated noise

WU Bai-wang

(Chongqing Creation Vocational College, Yongchuan 402160, China)

Abstract: In a complex marine environment, ships with different uses must communicate with each other, and interference will inevitably occur. These sources of interference may be from seabed earthquakes, ship propeller vibrations or other ship's radar equipment. The radiation noise of submarine often leads to the communication failure between ships. Only by effectively suppressing the background noise and reducing the background noise can we improve the safety performance of the ship. In this paper, the main sources of ocean bottom noise are studied, and the non-stationary noise characteristic estimation algorithm is used to classify the noise signals. A rough estimate of the noise is obtained by estimating the power of the noise signal. The noise estimation curve is calculated in Matlab, which verifies the rationality of the algorithm.

Key words: seafloor noise; radiation; estimation

0 引言

船舶航行过程中,船体、螺旋桨和水体之间会发生相互的振动,从而对水声信号的提取带来干扰^[1-2]。因此本文对海洋辐射的噪声信号进行研究,并提取不同类型的噪声频谱,建立基于非平稳噪声的特性估计算法,设计最优特征值提取模型。仿真结果表明,该算法的噪声估计效果令人满足。

1 海洋辐射噪声来源

在自然界中,尤其是海洋环境中存在的众多噪

声信号,包含了丰富的信息,这些信息能够有效反映海底的变化,同时也能够监测到船舶的运动,从而有利于人们开发出性能更加优异的潜水探测设备和军事舰船^[3-4]。目前,人们对海底噪声的研究主要是集中提取海洋噪声中的时空统计特性,并建立其和环境因素之间的依赖关系,及时作出预报,制造出更加灵敏的探测设备。

由于受到海洋其他噪声源的烦扰,监测器受到的噪声等效为:

$$NL = -115 + 20 \lg f - DI - E。$$

式中: DI 为指向性的指数, dB; E 为能量的转换效

收稿日期: 2016-09-19

作者简介: 吴白旺(1982-)男,讲师,研究方向为数理统计。

率, dB; f 为频率, kHz。

1.2 水动力噪声

由于水底的水动力噪声组成成分十分复杂, 里面包含了众多的水流和运动船只相互作用的噪声信号, 如图 1 所示为螺旋桨和水动力作用产生的水流矢量图, 从中我们发现, 在螺旋桨的作用下, 水流和桨叶表面形成了众多的不规则气旋, 这对噪声信号的提取带来非常大的干扰。

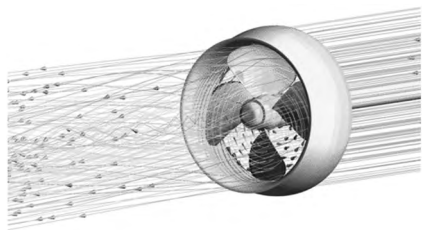


图 1 螺旋桨—水动力作用仿真图

Fig. 1 Propeller-hydrodynamic simulation

水流噪声的产生机理如下:

1) 当一定速度的水流与船只的壳体相互作用时, 由于振动频率与某些船体结构的固有频率相近, 会导致共振;

2) 在水体的湍流表面会产生新的流体噪声, 即所谓的粘滞流体噪声;

3) 在海洋表面, 船首、船侧和船上进排水循环系统的出入口会形成辐射噪声^[5-6]。

有布洛欣采夫的基本理论, 可以计算得到水动力噪声的强度与航速的关系为:

$$I_w = kv^n,$$

式中: k 为常数; v 为航速; n 为船舶本身有关的一个变量。

2 基于非平稳噪声的噪声特性估计算法

2.1 最优统计

假设海底的噪声辐射信号为 $y(t)$, 该信号由基本有用信号和噪声混合而成, 即满足 $y(t) = s(t) + n(t)$, 其中 t 为传感器的采样时间。若 2 个信号 $s(t)$ 和 $n(t)$ 为相互独立, 在一定的时间范围内各自的均值都为 0。首先需要将这种噪声信号转化到频域, 并按照长度为 L 设计采样点的帧信号大小, 设定每一帧信号的重叠时间为 R 点。对频域的信号进行 FFT 变换, 得到了频域表达式为:

$$Y(\lambda, k) = \sum_{u=0}^{L-1} y(\lambda R + u) h(u) e^{-j2\pi ku/L},$$

式中: λ 为帧号的大小; k 为频率点的标号。 $\lambda \in Z$, 其中 $k \in \{0, 1, \dots, L-1\}$, $h(u)$ 表示一个窗序列, 并且满足:

$$\sum_{u=0}^{L-1} h^2(u) = 1,$$

然后随噪声功率谱密度 $P(\lambda, k)$ 进行粗略的估计:

$$P(\lambda, k) = \alpha P(\lambda - 1, k) + (1 - \alpha) |Y(\lambda, k)|^2.$$

式中: α 为平滑控制参数, 该辐射噪声的功率估计为 $\sigma_N(\lambda, k)$, 并且决定于 $P(\lambda, k)$ 在一个滑动窗内的最小值。

因此需要假设信号始终处于无声的状态。在此过程中, 可以将平滑的过程变换成时变平滑系数作用的过程:

$$P(\lambda, k) = \alpha(\lambda, k) P(\lambda - 1, k) + (1 - \alpha(\lambda, k)) |Y(\lambda, k)|^2.$$

为了更进一步使 $P(\lambda, k)$ 反映真实的噪声功率谱密度 $\sigma_N(\lambda, k)$, 可以将目标的期望值设为 0:

$$E\{(P(\lambda, k) - \sigma_N(\lambda, k))^2 P(\lambda - 1, k)\} = 0,$$

根据上式得:

$$\alpha_{opt}(\lambda, k) = \frac{1}{1 + (P(\lambda - 1, k) / \sigma_N(\lambda, k) - 1)^2}.$$

2.2 功率估算与跟踪

根据最小噪声功率谱统计法, 首先需要对短时谱的最小功率谱密度进行跟踪, 并计算出在一个连续时间段内的最小功率谱密度。

先设定在 D 个连续的短时间内的噪声功率谱密度估计为 $P(\lambda, k)$, 其最小估计值为 $P_{\min}(\lambda, k)$, 那么满足:

$$P(\lambda, k) = (1 - \alpha) \sum_{i=0}^{\infty} \alpha^i |Y(\lambda - i, k)|^2,$$

由于 $|Y(\lambda, k)|^2$ 独立分布, 所以可以将 $P(\lambda, k)$ 的概率密度函数改写为:

$$\phi_{p(\omega)} = \prod_{i=0}^{\infty} \frac{1}{1 - j\omega\sigma_N(\lambda, k)(1 - \alpha)\alpha^i}.$$

在上述估计式的期望值 $E\{P_{\min}(\lambda, k)\}$ 与方差 $\sigma_N(\lambda, k)$ 成正比例关系。

再设定如下的若干统计量:

$$B_{\min}(\lambda, k) = E\{P_{\min}(\lambda, k)\}_{\sigma_N(\lambda, k)=1},$$

$$Q_{eq}(\lambda, k) = 2\sigma_N(\lambda, k) / \text{var}\{P(\lambda, k)\},$$

$$B_{\min}(\lambda, k) \approx 1 + (D + 1) \frac{2}{Q(\lambda, k)} \Gamma\left(1 + \frac{2}{Q_{eq}(\lambda, k)}\right)^{H(D)},$$

$$\tilde{Q}_{eq}(\lambda, k) = \frac{Q_{eq}(\lambda, k) - 2M(D)}{1 - M(D)}.$$

式中: $M(D)$ 与 $H(D)$ 都是 D 的系数函数, 其中 D 取 97, $M(97) = 0.875$, $D(97) = 3.55$ 。但是因为 $Q_{eq}(\lambda, k)$ 在非纯信号状态时的值较大, 因此 $B_{\min}(\lambda, k)$ 简化为:

$$B_{\min}(\lambda, k) \approx 1 + (D - 1) \frac{2}{Q_{eq}(\lambda, k)},$$

对于辐射噪声的方差 $\sigma_N(\lambda, k)$, 其估计式为:

$$\hat{\sigma}_N(\lambda, k) = \frac{P_{\min}(\lambda, k)}{E\{P_{\min}(\lambda, k)\}_{\sigma_N(\lambda, k)=1}} = B_{\min}(D, Q_{eq}(\lambda, k)) P_{\min}(\lambda, k),$$

$Q_{eq}(\lambda, k)$ 的估计式为:

$$Q_{eq}(\lambda, k) \approx \frac{2\sigma_N(\lambda - 1, k)}{v \hat{ar}\{P(\lambda, k)\}},$$

值得注意的是 $v \hat{ar}\{P(\lambda, k)\}$ 为 $P(\lambda, k)$ 的方差估计, 因此其估计式应写为:

$$v \hat{ar}\{P(\lambda, k)\} = \overline{P^2(\lambda, k)} - \overline{P(\lambda, k)}^2,$$

其中: $\overline{P(\lambda, k)}$ 和 $\overline{P^2(\lambda, k)}$ 分别为 $E\{P(\lambda, k)\}$ 和 $E\{P^2(\lambda, k)\}$ 的平滑估计, 并且满足:

$\overline{P(\lambda, k)} = \beta(\lambda, k) \overline{P(\lambda - 1, k)} + (1 - \beta(\lambda, k)) \overline{P(\lambda, k)}$ 。
式中: $\beta(\lambda, k)$ 为平滑系数, 且 $\beta(\lambda, k) = \alpha_{opt}(\lambda, k)$ 。

为了进一步优化非平稳噪声环境中的噪声估计水平, 将 $B_{\min}(\lambda, k)$ 与系数 $B_c(\lambda)$ 相乘, 其中:

$$B_c(\lambda) = 1 + a_v \sqrt{Q^{-1}(\lambda)}.$$

式中: $\overline{Q^{-1}(\lambda)} = (1/L) \sum_{k=0}^{L-1} \frac{1}{Q_{eq}(\lambda, k)}, a_v = 3$ 。

3 噪声估计

仿真实验中本文设计的辐射噪声信号包含了 2 种信号, 一种为信噪比为 -6 dB 的平稳带高斯白噪声; 另一种为 10 dB 的高斯白噪声

如图 2 所示为噪声特性的频谱分布图, 其中横坐标代表时间, 纵坐标代表功率谱密度, 虚线为估计的噪声谱, 实线表示真实的噪声谱。图中对噪声的特性进行了提取, 观察对比发现, 噪声是由白噪声和船舶底噪声组合而成, 图中的虚线描述了真实的噪声功率, 实线表示该算法估计出的噪声功率分布, 其中在频率分量 $k = 8$, 对应于 100 帧处, 此时的噪声功率突然升到顶峰, 对应的估计噪声功率也

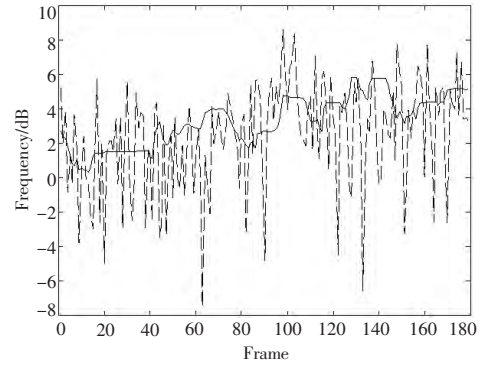


图 2 噪声频谱分布

Fig. 2 Noise spectrum distribution

发生突升, 这种现象说明本文的噪声统计特性提取是合理的。

4 结 语

随着各种高新信息技术被用于海洋的发展中, 人们能够借助于先进的科学仪器和智能算法对海底的噪声信号进行收集和处理, 因此, 本文的研究具有一定的前瞻价值, 也取得了预计的效果。

参考文献:

- [1] 韩东, 张海勇, 黄海宁, 等. 基于远近场声传播特性的拖线阵声纳平台辐射噪声空域矩阵滤波技术[J]. 电子学报 2014(3): 432-438.
- [2] 罗雪峰, 张明之. 一种基于线阵的舰船辐射噪声空间分布特性分析方法[J]. 舰船科学技术 2009, 31(7): 82-84, 132.
- [3] 仇远旺, 王国治, 胡玉超. 基于振动传递分析的舰船辐射噪声特性研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版) 2011(2): 110-114.
- [4] MIRLIND K, LUKAS L, MICHAL P, et al. Reducing radiation dose in coronary angiography and angioplasty using image noise reduction technology[J]. The American Journal of Cardiology 2016, 118(3): 320-328.
- [5] CHENG Gen-yin, WEI Zhi-yong, XU Ming, et al. Noise propagation characteristics of underground equipment in coal mines[J]. Journal of Coal Science and Engineering (China) 2012, 18(3): 59-62.
- [6] YE Xi, SUN Long-quan, PANG Fu-zhen. Dynamics and noise radiation of multiple bubbles in compressible fluid using boundary integral equation[J]. Engineering Computations 2015, 32(3): 66-70.