

舰船多辐射声源近距离通过特性的仿真

罗建[†] 湛雅倩 马定坤

(西北工业大学 西安 710072)

摘要 由于舰船三个特定部位(尾部、中后部、中部)的辐射噪声具有明显不同的功率谱特征,利用这些特征具有实际的意义。我们采用简化的近距离舰船辐射噪声三亮点模型来逼近舰船这三个特定部位的辐射噪声中的连续谱结构,采用时间滑动的卷积算法来重构舰船某一辐射噪声源的噪声序列,重构的噪声序列同时具有要求的幅度概率分布和功率谱形状。在重构不同辐射声源时域信号的基础上,对舰船辐射噪声的通过特性以及三个辐射噪声源在不同的接收位置的影响进行了仿真。仿真结果与实测的某型舰船的通过频谱结果相比较,表明其频域特征是大体一致的。

关键词 噪声过程的模拟, 时间滑动卷积, 多源噪声模拟, 通过特性

Simulation of short-distance-through-signature considering multi-radiation sources of a ship

LUO Jian ZHAN Ya-Qian MA Ding-Kun

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Owing to the fact that the radiated noises of the three special sections of a ship (tail, middle-back, middle) present noticeably different features of power spectrum, it will be advantageous is significant to make use of them. In the present research, the simplified "three highlights" model for the ship-radiated noise at short distance is adopted to approach the continuous spectrum in these special sections. The convolution algorithm using a sliding time-window is used to regenerate the noise sequence of a special radiated source, the noise sequence has both specified amplitude probability distribution and desired power spectrum feature. Based on the reconstruction of the time-domain signals of the different radiated noise sources, the through signature and the addition effect of the three noise sources at differ positions has been simulated. The results of simulation of the noise process are close to the actual testing data for a certain ship,

2006-07-20 收稿; 2007-11-20 定稿

作者简介: 罗建(1968-), 男, 陕西省西安市人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 水下物理场建模与仿真, 数字信号处理, 微弱信号检测等。

湛雅倩(1982-), 女, 硕士研究生。

马定坤(1982-), 男, 博士研究生。

[†] 通讯联系人 E-mail: jluo@nwpu.edu.cn

both exhibiting the similar spectrum features.

Key words Simulation of noise process, Convolution algorithm using a sliding time-window, Simulation of multi-source noise, Through signature

1 引言

舰船辐射噪声是水下目标被动探测系统对目标检测、定位和识别的重要目标特性。实测舰船在不同工况条件下的辐射噪声, 需要耗费大量的人力和物力, 且在某些特殊条件下的测试实际上是不便于进行的, 如在恶劣的海况。因此, 在对舰船辐射噪声进行信号处理、检测、识别和分类等研究时, 要完全依赖实测数据是不现实的。为此, 我们需要建立仿真模型, 来产生逼近实测舰船辐射噪声主要特征的仿真数据来进行检测、识别方法的研究及性能验证。

当目标所在位置和水听器间的距离与目标舰船自身的尺度可比时, 目标不能像远距离探测系统中那样被视为点目标, 而应当作为一个体积声源处理^[1,2]。当舰船被视为体积目标时, 与点目标不同, 我们不仅需要了解舰船作为一个点声源的声源强度及其能量的频域分布, 而且需要研究舰船辐射噪声的源强度谱沿船长方向的纵向分布特性。由于形成舰船辐射噪声的声源在船体内外呈现复杂的分布, 舰船辐射噪声的源强度谱纵向分布特性在舰船的不同部位可呈现明显不同的声源级和功率谱形状。具有代表性的部位包括螺旋桨部位、主机部位、辅机部位以及船头部位。

目前, 将舰船辐射的噪声作为一个点源来进行重构已经有了各种不同的方法^[3-6]。由于舰船不同部位具有明显不同的频域特征^[1,2], 我们采用简化的舰船辐射噪声三亮点模型, 来逼近舰船的三个特定部位(主机、辅机和螺旋桨)的辐射噪声中的连续谱结构, 将舰船的这三个主要辐射噪声源在接收点处叠加, 来重构舰船作为体积目标的辐射噪声。

在重构出舰船辐射噪声的基础上, 对舰船的近距离通过特性进行了仿真, 并对仿真结果进行了时频分析, 详细分析了舰船辐射噪声中

有代表性的一些频率成分(低频的线谱和螺旋桨的连续谱)的通过特性。当舰船位于观测点不同方位时, 不同部位的声源距观测点的距离不同, 对观测点处的影响不同, 因此叠加后的频域特征反映了这种随相对位置变化的频谱形状变化。通过仿真结果与某实测舰船频域特征的比较, 证明了仿真模型和算法的有效性。

2 连续噪声过程的模拟

模拟一个噪声过程, 通常最关心的两个统计特性是幅度概率分布和功率谱形状。本文采用时间滑动的卷积算法, 以连续产生模拟的噪声信号, 其噪声过程任意时刻起的一段样本均同时具有设定的功率谱形状和幅度概率分布^[7]。

构造一个线性系统, 使之具有与要求模拟的辐射噪声幅频特性相同的频率响应 $H(\omega)$; 设白噪声通过所构造的系统, 即可产生功率谱为 $|H(\omega)|^2$ 的噪声信号。根据线性系统理论, 一个平稳随机信号的取样序列, 通过线性系统后, 其输出仍然为一平稳随机序列。可以构造一个有限冲击响应(FIR)的数字滤波器来实现上述线性系统。

我们采用 Box-Muller 算法来产生高斯分布的白噪声, 生成白噪声通过所设计的线性系统时会产生所需的噪声序列。图 1 为重构的舰船辐射的噪声序列及其功率谱。

3 舰船辐射噪声通过特性的仿真

舰船通过接收点上方的过程中, 接收到的被测舰船的辐射噪声声压与接收距离的关系称为舰船辐射噪声的通过特性。舰船辐射噪声的通过特性是典型的非平稳过程, 在舰船接近和

离开接收点的过程中，存在有明显的时域幅度和频域形状的起伏。舰船在近距离通过时应被视为体积目标。采用上节所述算法可以分别产生舰船的三个不同部位的不同频段辐射噪声源的时域波形，然后重构作为体积目标的舰船辐射噪声的通过特性。

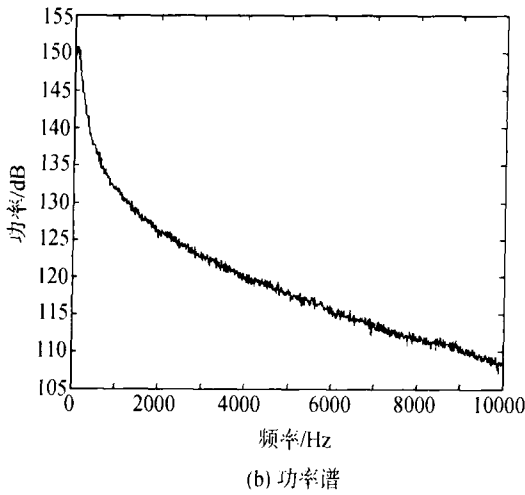
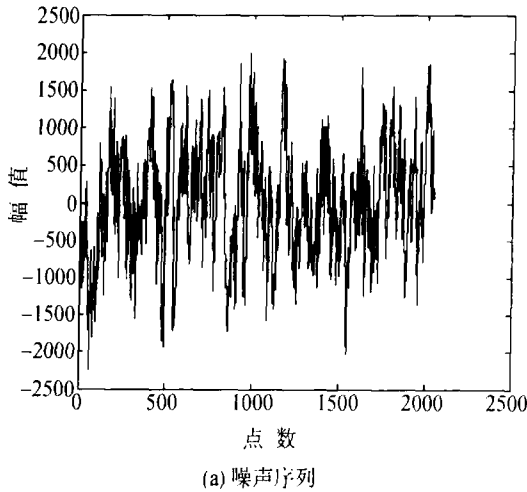


图1 舰船连续谱噪声的仿真结果

图2中，建立左手坐标系 xyz 。观测点在点 P ，布放深度为 H ， D 表示水听器与舰船的横距。目标沿 y 轴航行，航速为 v 。知道船速和航行时间，船尾距观测点的水平距离 BQ 可以用航速乘以时间得到， $BQ = y(t) = vt$ 。设船长为 L 米，则主机以及辅机距观测点的距离分别为： $B_1Q = y(t) - L/4$ ，和 $B_2Q = y(t) - L/2$ 。然后可求得船尾距观测点 P 的距离 $BP = \sqrt{y(t)^2 + D^2 + H^2}$ ，

主机部位距观测点的距离为 $B_1P = \sqrt{(y(t) - L/4)^2 + D^2 + H^2}$ ，同理 $B_2P = \sqrt{(y(t) - L/2)^2 + D^2 + H^2}$ 。在近距离时，按球面传播计算传播损失： $TL = 20\lg BP + \alpha BP + 60$ (dB)。可求得舰船各部位辐射噪声，将各部位辐射的噪声相加，可得到给定横距、布深的舰船作为体积目标所辐射噪声的通过特性的仿真信号。图3所示为带宽为5000Hz时舰船通过特性仿真曲线。

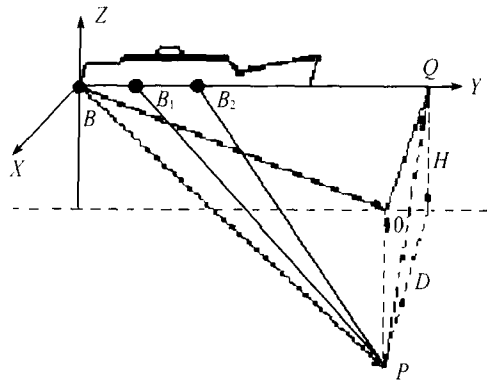


图2 观测点与目标舰船的位置关系

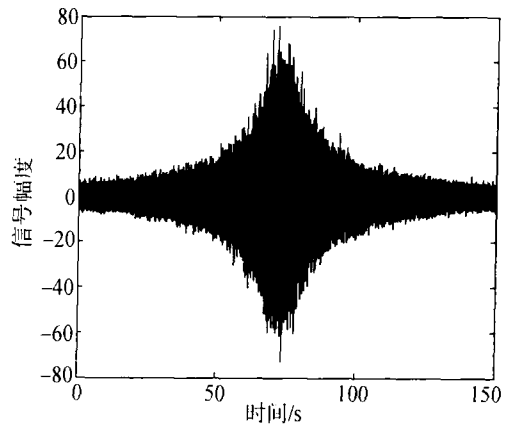


图3 舰船通过信号的仿真

4 仿真与结果分析

我们利用 Matlab 语言进行仿真来验证模型和算法的可行性。图4所示为频率在0~5000Hz范围的舰船辐射噪声仿真信号的时-频图。从图中可以看出，船舶辐射噪声沿频率轴的每一个频率成分在时间上都有一个最大

值，而且到达其峰值的时间并不完全一致。舰船辐射噪声是由舰船各部位声源所产生，不同部件产生并辐射的噪声在频率上不相同，由于各部件在舰船上安放的位置不同，不同部件产生的噪声在到达其峰值的时间也不同，这反映了噪声各个频率成分沿舰船纵向的分布特性。

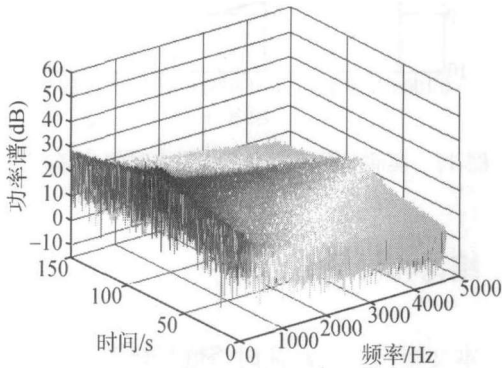


图 4 仿真产生的舰船辐射噪声的时 - 频图

图 5 是 10~100Hz 带宽声级的通过特性，并给出了通过特性的拟合平滑曲线，其最大值出现在 73.5 秒。图 6 和 7 分别给出了 100~1000Hz 带宽声级和 1000~5000Hz 带宽声级的通过特性以及他们的拟合平滑曲线，其最大值分别出现在 71.8 秒和 75.3 秒。我们以 1000~5000Hz 带宽声级（主要由船尾螺旋桨产生）最大值的时刻作为基准点，再结合舰船的航速，可得到 10~100Hz 连续谱相对船尾的距离为 26.3m，它们辐射声源的位置在主机部位附近。同理可得到 100~1000Hz 的连续谱相对船尾的距离为 52.4m，它们的辐射声源的位置在辐机部位附近，这与舰船作为体积目标的三亮点模型相吻合，验证了噪声通过特性仿真信号的正确性。

假设舰船从观测点的左方驶向右方，图 8、图 9 分别给出了舰船位于不同位置时不同声源叠加后的功率谱形状。当舰船位于观测点左边时，分布在 100~1000Hz 频段的噪声源对叠加结果的影响较大。舰船位于观测点右边时高频噪声源对叠加结果的影响较大。

图 10 对叠加后的功率谱进行了平滑，并把三个不同位置的功率谱形状进行比较。图 11

为实测某舰船通过某接收点时在不同位置的功率谱。通过图 10 与图 11 的比较可以发现，仿真结果与实测数据在功率谱形状的时变特征上比较吻合。

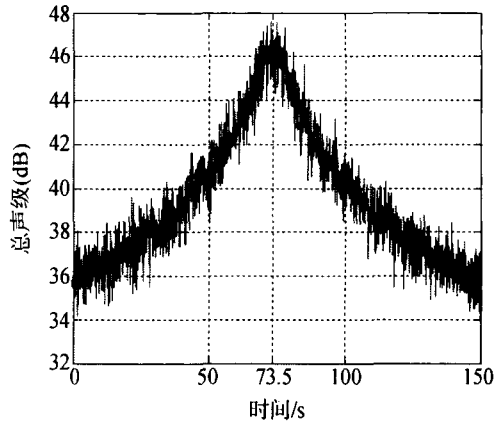


图 5 10~100 Hz 带宽声级的通过特性

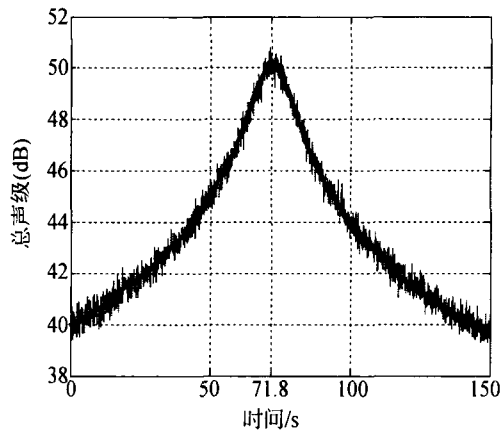


图 6 100~1000 Hz 带宽声级的通过特性图

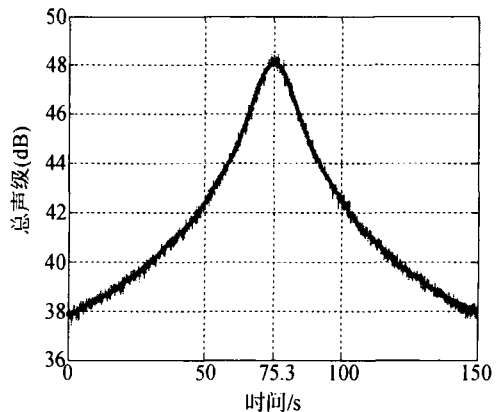


图 7 1000~5000 Hz 带宽声级的通过特性

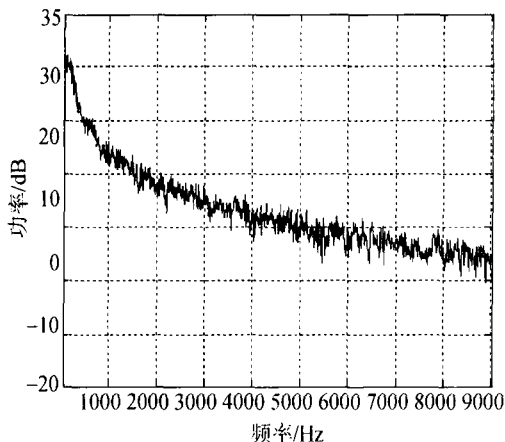


图8 舰船位于观测点左边时的功率谱

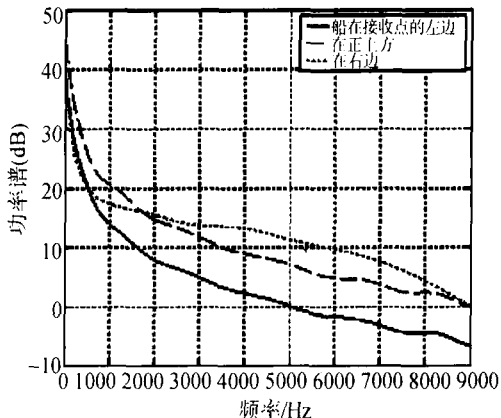


图11 实测某舰船通过某接收点时的功率谱

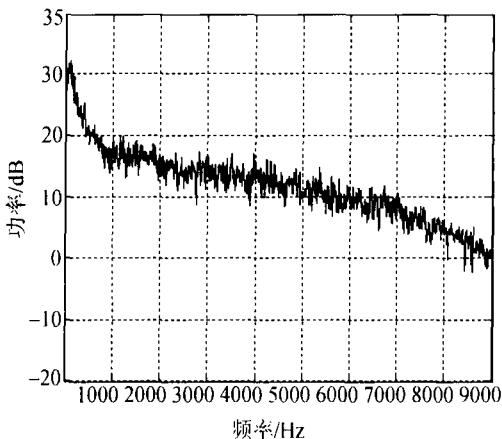


图9 舰船在观测点右边时的功率谱

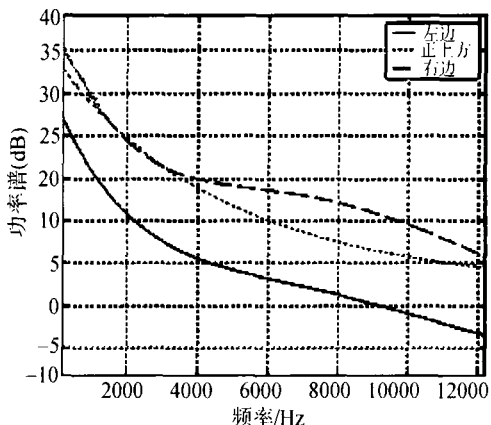


图10 不同接收点叠加后的功率谱

5 结论和讨论

本文提出了近距离时将舰船辐射噪声作为三个点源来对舰船辐射噪声的通过特性进行仿真。仿真结果表明,即使在作了较大简化的前提下,本模型和算法也得到了较为满意的结果,与实测数据所反映的时频域时变特征是一致的,采用本算法对作为体积目标的舰船辐射噪声进行重构是可行的。应用模型和算法,可以对舰船作为体积目标的辐射噪声在不同布深、横距的观测点处的通过特性进行仿真,可方便水下目标探测系统的方法研究和性能验证。

参 考 文 献

- [1] 刘勋,相敬林等. 作为体积目标的船舶声辐射纵向分布特征的研究. 西北工业大学学报, 2000, 18(3): 409-412.
- [2] 相敬林,刘勋. 舰船做为体积声源的源强度谱纵向分布特性. 探测与控制学报, 2002, 24(2): 5-9.
- [3] 肖心敏. 船舶辐射噪声主动模拟技术研究. 舰船科学技术, 2002, 24(2): 29-35.
- [4] 李正刚. 舰船辐射噪声模拟产生技术方法综合研究. 声学技术, 2000, 19(4): 236-238.
- [5] 杜选民,姜亚浩. 舰船辐射噪声模拟技术研究. 声学技术, 1999, 18(1): 10-14.
- [6] 王本刚,董大群,谢松云. 基于功率谱估计的舰船噪声特征提取及声场通过特性仿真. 系统仿真学报, 2002, 14(1): 25-26.
- [7] 罗建,相敬林. 连续噪声过程的模拟. 声学学报, 1997, 22(6): 509-514.