

噪声背景下目标线谱提取方法研究

李厚全, 韩树平

(海军潜艇学院, 青岛, 266071)

摘要: 利用目标线谱与自噪声线谱在时间域和空间域上的差异, 采用时空联合手段研究舰船噪声中目标线谱的提取方法。文中具体讨论了连续谱背景下线谱的提取方法以及舷侧阵中自噪声线谱与目标线谱的分离方法。海上实验数据处理结果表明了该方法的有效性。

关键词: 辐射噪声; 线谱; 声纳

中图分类号: TB561 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2005)01-0014-04

Extraction of target spectral lines in background noise

LI Hou-quan, HAN Shu-ping

(The Navy Submarine Academy, Qingdao, 266071, China)

Abstract This paper deals with extraction of spectral lines of underwater targets in background noise using a space-time integral method. Based on the difference between the target spectral lines and spectral lines of self-noise, extraction of spectral lines from background noise and separation of the target spectral lines from spectral lines of self-noise are discussed. Results of experiments on data obtained from the sea indicate validity of the method.

Key words spectral line, radiated-noise, sonar

1 引 言

舰船噪声谱由线谱和连续谱构成, 线谱主要集中在 1kHz 以下。由于线谱携带了目标类型和目标运动参数的信息, 作为解决远程目标定位和目标识别的重要手段, 近年来, 国内外学者在这方面做了不少工作。关于线谱提取有四种处理方法: (1) 基于滑动平均和差分因子的方法^[1]; (2) 基于神经网络的方法^[2]; (3) 基于 Gauss-Newton 非线性最小二乘曲线拟合方法 (LMS); (4) 基于进化规划的方法^[3]。滑动平均和差分因子的方法精度较高, 但算法复杂, 需要人工辅助进行事先处理和事后调节; 神经网络的方法受到训练样本的制约, 性能不够稳定; Gauss-Newton 非线性最小二乘曲线拟合方法具有简单适用的特点, 但依赖于梯度信息, 局部寻优算法易陷于局部最优点而得不到全局最优点, 特别当拟合函数

存在多个极值点时, 精度难以保证; 进化规划的方法基于并行算法, 计算速度慢。以上方法仅限于线谱的一般性研究, 有关水下辐射噪声中线阵尤其是舷侧阵目标线谱的提取方法报道较少。

实际应用中舷侧阵目标线谱的提取是比较困难的, 尤其是在干扰背景下自动提取线谱。本文从线谱的时空域信息出发, 时间上采用 M of N 时间积分滤波器以及线谱多普勒频移方法, 空间上采用分裂波束法联合提取目标线谱。海上实验数据处理结果表明了该方法的有效性。

2 目标线谱提取方法

提取目标线谱, 首先要确定线谱。即将连续谱背景下所有线谱提取之后, 进而研究目标线谱与自噪声线谱的差异并将之分离。图 1 是目标线谱提取与自动分离原理框图。

2.1 噪声线谱提取算法

利用多波束形成技术进行全方位目标搜索, 对所关心的运动目标进行连续方位跟踪, 提取其方位,

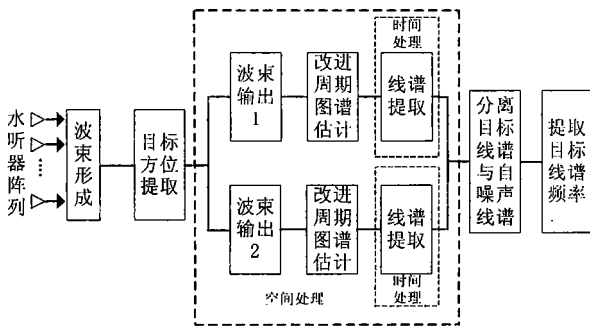


图 1 目标线谱自动提取和分离原理框图

并计算目标所在方位的波束输出。

文中采用修正周期图谱估计方法,对获得的波束输出信号作谱估计;不对分段周期图进行平均,以避免数据过长造成平均后线谱幅值降低,检测率下降。

设波束输出信号为 $x(n)$, 数据总长度为 N , 即 $n = 1, 2, \dots, N$, 将 $x(n)$ 分为 L 段, 每段长度为 M 。选择恰当的窗函数 $w(n)$, 并用该 $w(n)$ 依次对每段数据做相应的加权, 确定第 i 段的周期图:

$$I_M^i(\omega) = \frac{1}{MU} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x^i(n) w(n) e^{j\omega n} \right|^2, \quad 1 \leq i \leq L \quad (1)$$

其中, $U = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n)$ 为归一化因子。本文选取矩

$$形窗 w(n) = \begin{cases} 1 & 0 \leq n \leq M-1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}。$$

依次将每段数据作修正周期图谱估计, 得到以频率为横轴, 时间为纵轴, 谱线幅度为竖轴的三维时频谱图, 对应三维空间函数 $\Omega(f, t, h)$ 。

连续谱中提取线谱算法:

(1) 提取局部最大值点: 线谱频率一般选在峰尖的位置, 即谱峰范围内线谱高度大于两边谱线的高度, 为局部最大值。保留峰值, 剔除两边较峰值为低的谱线。设 $k-1, k, k+1$ 三点的谱值分别为 y_{k-1}, y_k, y_{k+1} , 求一阶差分: $\Delta y_k = y_{k+1} - y_k, \Delta y_{k-1} = y_k - y_{k-1}$ 。若 $\Delta y_k \cdot \Delta y_{k-1} < 0$ 则判断 y_k 为局部极大值点; 否则判断为中间点。保留局部极大值点, 剔除中间点^[4]。

(2) 设置峰高门限: 将整个频率轴分为 K 个区间, 在每一个区间内, 将保留的局部极大值取均值再乘以一比例因子得到一线谱门限值 A_{gate} , 剔除小于此门限值的谱线^[5]。

(3) M of N 时间积分滤波器: 经 (1) (2) 两步处理, 去除了大部分的具有缓变连续谱的噪声的基础

上, 沿时间对线谱历程作跟踪, 应用 M of N 时间积分处理, 剔除伪峰。

设空间函数 $\Omega(f, t, h) = G(f, t) \cdot h(f, t)$, 其中 $h(f, t)$ 为谱线的幅度函数, $G(f, t)$ 为线谱出现几率函数如 (2) 式。

$$G(f, t) = g_{ij}(f_j, t_i) = \begin{bmatrix} g_{11}(f_1, t_1) & g_{11}(f_2, t_1) & \dots & g_{1R}(f_R, t_1) \\ g_{21}(f_1, t_2) & g_{22}(f_2, t_2) & \dots & g_{2R}(f_R, t_2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ g_{s1}(f_1, t_s) & g_{s2}(f_2, t_s) & \dots & g_{sR}(f_R, t_s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$g_{ij}(f_j, t_i) = \begin{cases} 1 & h_{ij}(f_j, t_i) > 0 \\ 0 & h_{ij}(f_j, t_i) = 0 \end{cases}$$

$i = 1, \dots, L; j = 1, \dots, R$, 频谱带宽为 $f_1 \sim f_R$, 第 i 段波束输出信号对应航路时刻 t_i 。根据线谱的稳定性, M of N 时间积分将 $G(f, t)$ 中数据按时间划分为若干长度为 T 的区间, 对频率为 f_j 的谱线每个区间上作时间积分, 由于运动声源线谱的多普勒特性, T 的选取不能太长。设累计门限为 Σ , 若 $\sum_{i=1}^M g_{ij}(f_j, t_i)$, 即判断 f_j 谱线为线谱, 若 $\sum_{i=1}^M g_{ij}(f_j, t_i) < \Sigma$ 则判断为伪峰。将伪峰剔除。由于线谱峰值为局部最大值点, 因此 M of N 积分门限值取 Σ 与 T 比值为 $1/3$ 。

通过上述算法, 将线谱从噪声背景中提出, 从而分离线谱与连续谱。

2.2 目标线谱与自噪声线谱的分离技术

对于线阵来说, 远场目标信号相对线阵为平面波, 因此目标信号在线阵空间上是均匀的, 而自噪声在阵空间上是非均匀的。利用两者的这种差异, 可以滤除阵空间上分布不均匀的自噪声线谱。此外, 运动目标的线谱具有多普勒频移特性, 而自噪声线谱相对稳定, 据此可以进一步分离目标线谱与自噪声线谱。

具体算法:

(1) 将线阵分为相同的两个子阵, 分裂波束法对目标进行跟踪, 因此两个子阵的输出中, 目标线谱对于两个子阵, 只有幅度上的差别, 频率上却是相同的; 而自噪声线谱相对于两个子阵则可能有较大的差异。

(2) 利用 2.1 节中噪声线谱提取方法分别对两分裂波束进行处理。设两波束对应状态空间函数分别为:

$$\Omega_1(f, t, h) = G_1(f, t) \cdot h_1(f, t),$$

$$\Omega_2(f, t, h) = G_2(f, t) \cdot h_2(f, t).$$

设线谱提取代价函数为:

$$Y(f, t) = | \Omega_1(f, t, h) + \Omega_2(f, t, h) | - | \Omega_1(f, t, h) - \Omega_2(f, t, h) | = | G_1(f, t) \cdot h_1(f, t) + G_2(f, t) \cdot h_2(f, t) | - | G_1(f, t) \cdot h_1(f, t) - G_2(f, t) \cdot h_2(f, t) | \quad (3)$$

其中 $G_1(f, t)$ 、 $G_2(f, t)$ 意义同式 (2), $h_1(f, t)$ 、 $h_2(f, t)$ 为两波束线谱的幅度函数。

代价函数的意义是在两波束提取线谱的基础上滤除两子阵空间不均匀的线谱。式 (3) 中前一项为两波束对应时间对应频率的线谱幅度之和, 后一项对应两波束线谱对应幅度之差。对于空间非均匀的线谱, 即其中一个子阵的线谱幅度为零, 因此两波束对应线谱幅度之差与之和在分别取绝对值后则有相同的结果, 即: $y_{ij}(f_p, t_i)$; 对于两子阵空间无差异的线谱 (不考虑幅度), 代价函数值 $y_{ij}(f_p, t_i)$ 。由此, 代价函数滤除了空间分布不均匀的自噪声线谱。

此外, 根据多普勒频移公式:

$$f_i = f_0 \left[1 + \frac{v \cos Q_i}{c} \right]$$

可知, f_0 为开始时刻测得的声源频率, c 为声速, v 为目标相对接收点的速度, Q_i 为 i 时刻目标弦角, 当目标与接收点有相对运动速度时, 目标线谱有多普勒频移, 而自噪声线谱频率相对稳定, 由此可进一步分离目标线谱与自噪声线谱。

3 海上实验数据处理

基于本文方法处理某海上实验数据, 提取目标线谱。实验使用直线阵, 多通道采集器同时记下了各个水听器输出端的信号。图 2 给出了从这些水听器原始信号数据中利用波束形成提取的目标方位历程图。图 3 是某时刻线谱提取结果。将线阵分成相同的两个子阵, 经傅里叶变换后得到两子阵波束输

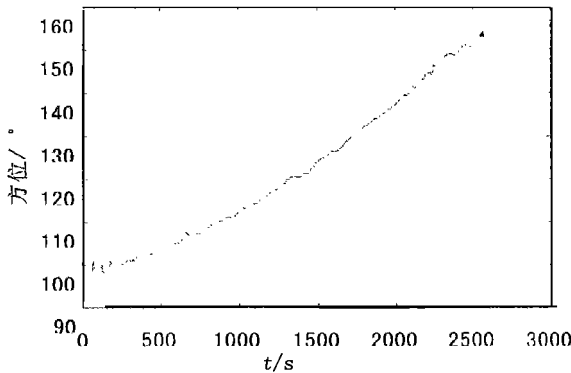


图 2 目标方位历程图

出的时频图如图 4。图 5 是在两子阵波束输出中提取线谱, 并应用 M of N 时间积分处理, 剔除伪峰, 得到的线谱提取结果。(图 5 中 (a)、(b) 两图分别对应图 4 中 (a)、(b) 两图处理后的结果)。利用目标线谱与自噪声线谱的空间差异性, 图 6 给出了线谱分离结果。在图 6 中, 剩下为数不多的几根线谱。对线谱作时间跟踪, 峰值法自动提取线谱频率。由

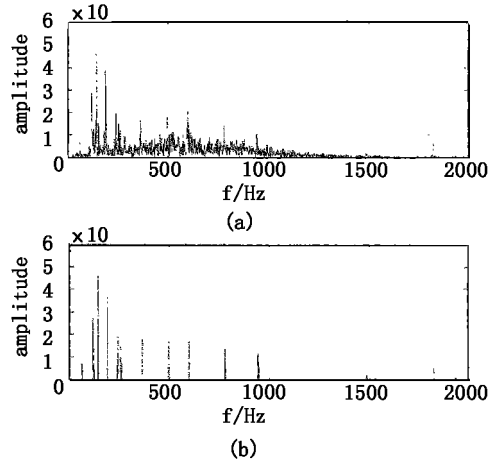


图 3 某时刻线谱提取

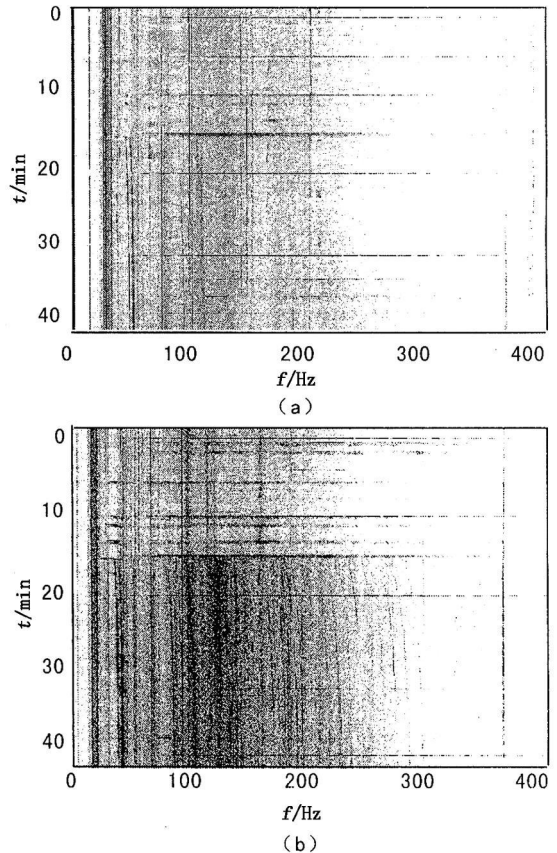


图 4 两子阵波束时频图

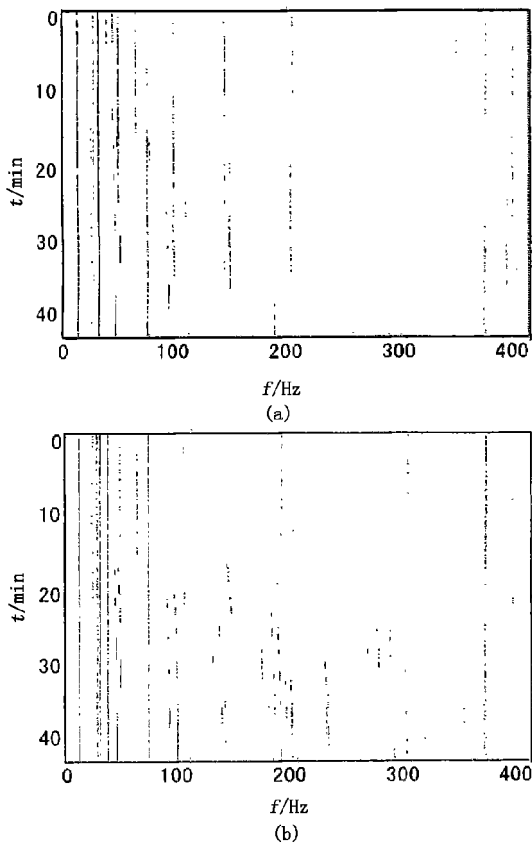


图 5 两子阵波束输出线谱提取结果

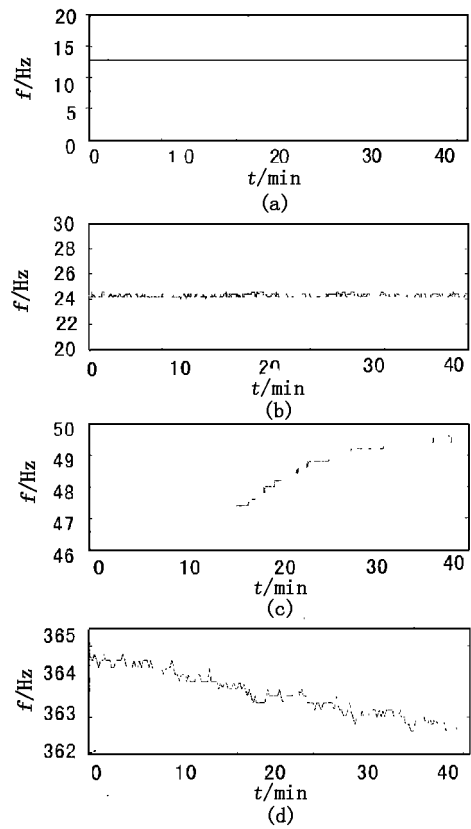


图 7 分离结果中的几根线谱

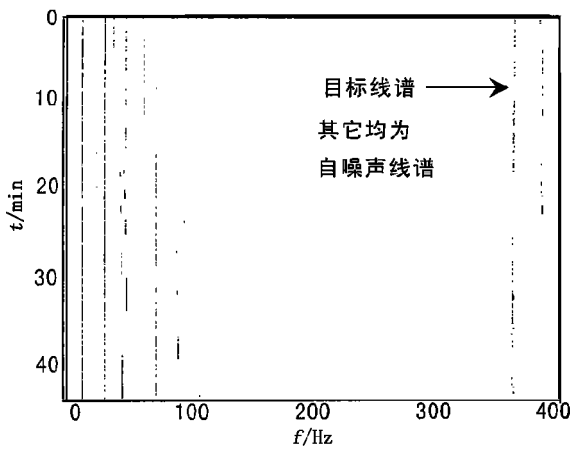


图 6 目标线谱与自噪声线谱分离图

于篇幅所限,图 7 只给出了图 6 中的其中四根线谱。其中 (a) (b) 在整个时间历程中比较稳定,无多普勒频移,可判断为自噪声线谱; (c) 在航路的后半时间段出现,其成因有待于进一步研究。只有 (d) 在整个时间历程中具有稳定的多普勒频移,可判断为目标线谱。其它线谱均频率较稳定,无明显的多普勒频移,具有自噪声的特点。

4 结 论

本文所提出的噪声背景下的目标线谱提取方法,从辐射噪声中提取出线谱,并在提取的线谱中分离出目标线谱,为目标线谱与自噪声线谱的自动分离提供了一种有效的方法。为远程被动测距与目标识别中目标线谱信息的获取提供了技术手段。依据目标线谱的多普勒频移信息进一步分离目标线谱与自噪声线谱的工作,有待于作进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 陶笃纯. 噪声和振动谱中线谱的提取和连续谱的平滑 [J]. 声学学报, 1984 9(6): 337-344
- [2] Dimartino J.C, Cohet B, Dimartino M. The use of non-supervised neural networks to detect lines in bflagran, Vol 2 [A]. Proc of IEEE ICASSP' 94[C]. Adelaide SA, Australia 1994. International Conference 293-296
- [3] 宋爱国, 陆信人. 信号功率谱特征提取的进化规划方法 [J]. 电路与系统学报. 1998 3(3): 92-97
- [4] 吴国清. 舰船噪声识别 (I)-总体框架、线谱分析和提取 [J]. 声学学报, 1998 23(5): 394-400
- [5] 景志宏, 向德全. 基于线谱特征的水下目标识别仿真实验研究 [J]. 系统仿真学报, 2000, 12(6): 642-644