

自适应空域矩阵滤波在匹配场定位中的应用

刘志坚, 孙 超, 郭国强

(西北工业大学声学工程研究所, 西安 710072)

摘要: 匹配场定位问题中, 为了不影响观测结果, 需要抑制观测区域存在的干扰。广义空域滤波在抑制拖曳舰船噪声及类似已知干扰的问题上起到了很好的效果, 但对于强干扰或未知干扰声源信息的情况, 需要寻找一种新的方法。波束形成目标方位估计问题中的自适应空域矩阵滤波器设计方法可以用来解决这一问题。对自适应空域矩阵滤波器增加稳健性约束处理后, 针对匹配定位问题做了大量仿真实验, 比较了广义空域矩阵滤波器和自适应空域矩阵滤波器对干扰的抑制效果。实验结果表明, 如果选取正确的通带范围, 自适应空域矩阵滤波在匹配场定位应用中可以非常有效地抑制未知强干扰。

关键词: 自适应空域矩阵滤波; 匹配场定位; 强干扰; 未知干扰

中图分类号: TP391.9N

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2010)-06-0573-06

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2010.06.004

Application of adaptive spatial matrix filter to matched field source localization

LIU Zhi-jian, SUN Chao, GUO Guo-qiang

(Institute of Acoustic Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072, China)

Abstract: Suppressing interference noise is so necessary in matched field source localization problem in order not to affect the observational results. The generalized spatial filter does well on suppressing the noise from a tow-ship or other noise sources whose characters are known as a priori. However, a new method is needed to find out when the interference noise is unknown or its power is strong enough. Adaptive spatial matrix filter being used in estimating the target's position by beamforming could also dealing with the problem in matched field processing. In this paper, a robust processing is added to multiple constraints, then a large amount of Computer simulations for the matched field source localization problem are shown, after that suppressing effects about generalized spatial filter and adaptive spatial matrix filter are compared. The experimental results prove that if the pass band is correctly chosen, the adaptive spatial matrix filter could favorably suppress unknown interference noise with strong power on matched field localization.

Key words: adaptive spatial matrix filter; matched field source localization; strong interference noise; unknown interference noise

1 引言

匹配场噪声抑制可以改善目标的匹配定位效果, 因此这一问题近年来得到了国内外学者的广泛关注^[1-4]。当观测区域内存在足够强的干扰时, 用最小方差(MV)处理器也不能分辨出想要的声源信息。为此, 鄢社锋等提出广义空域滤波方法^[5,6], 原理是通过设计一个全局优化的空域滤波器, 即矩阵滤波器, 使不感兴趣区域的响应向量变得很小, 而尽量不改变感兴趣区域的响应向量。在设计过程中, 将空域滤波器问题转化为二阶锥规划问题, 然后采用

已有的内点方法求解, 可以得到需要的空域滤波器, 对确知方位的确知干扰源可进行有效的滤波。文中指出, 对于干扰位置未知的情况可以扩大设定的阻带区域, 从而达到限制阻带幅度的目的, 这种方法在抑制拖曳舰船噪声及类似已知干扰的问题上起到了很好的效果^[5,7], 然而对于位置未知的干扰, 一般情况下其能量级也是未知的, 如果设定的阻带衰减不足以抑制强干扰或设定的阻带区域外存在干扰时, 空域矩阵滤波后的干扰残余会严重影响后续处理方法的性能。因此需要找到一种方法能够自适应地滤除通带外的未知干扰。

在波束形成目标方位估计方法中, 冯杰等人提出了阵元域自适应空域矩阵滤波器的设计方法^[8], 可根据干扰的方位和能量大小自适应调整零陷位置和深度。本文将这一方法用于存在强干扰情况下的匹配场定位问题, 在未知干扰信息的前提下, 对

收稿日期: 2009-12-18; 修回日期: 2010-03-29

作者简介: 刘志坚(1985-), 男, 黑龙江人, 硕士研究生, 研究方向为水声信号与信息处理。

通讯作者: 刘志坚, E-mail: liuzhijian@live.cn

非感兴趣但存在干扰的区域, 自适应产生较深的凹槽, 得到了很好的滤波效果。在匹配场定位问题中, 对于存在强干扰, 利用 Bartlett 滤波器和 MV 方法以及常规的匹配场广义空域滤波器均不能估计目标方位的情况下, 通过本文的匹配场自适应空域矩阵滤波器能够很好地抑制干扰并观测到目标信号。

2 匹配场定位原理

对于 N 个阵元的基阵, 窄带接收数据模型可以表示为:

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{m=1}^M s d_m(t) \cdot \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m) + \sum_{d=1}^D s i_d(t) \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) + \mathbf{n} \quad (1)$$

其中, 对于某一时刻 t , $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{v}$ 均为 $N \times 1$ 维列向量, $s d_m$ 为位于距离 r_m 并且深度为 z_m 、频率为 f_m 的期望信号, 共有 M 个, $s i_d$ 为干扰信号, 共有 D 个, $\mathbf{n}$ 为噪声矩阵, $\mathbf{v}(r, z, f)$ 的意义会在下面解释。

当考虑假设信号、干扰信号和噪声互不相关时, 接收数据的协方差矩阵可以表述为:

$$\mathbf{R}_x = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\} = \sum_{m=1}^M \beta_m^2 \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m) \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m)^H + \sum_{d=1}^D \sigma_d^2 \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d)^H + \sigma_n^2 \mathbf{R}_n \quad (2)$$

其中, $(\cdot)^H$ 表示共轭转置, $\beta_m^2 (m=1, \dots, M)$ 、 $\sigma_d^2 (d=1, \dots, D)$ 和 σ_n^2 分别为信号功率、干扰功率和噪声功率, 因此, 接收数据协方差矩阵 $\mathbf{R}_x$ 可以表示基阵接收信号的功率。 $\mathbf{v}(r, z, f)$ 为在距离 r 并且深度为 z 、频率为 f 的声源相对于接收基阵的响应向量, 在匹配场处理中, 响应向量可以表示成距离、深度和频率的函数, 这一点不同于仅与方位有关的平面波阵列流型。匹配场定位原理是将观测区域划分网格, 通过建立数学模型计算得到各网格处的理论响应向量, 称之为拷贝向量。通过将基阵接收数据与每个网格的这一理论响应向量做相关, 得到在声源特征与该网格处特征的相似程度并用颜色的冷暖将其表示出来。因此如果观测区域内存在两个或以上声源, 而声源强度差距很大, 很多较弱声源就会被淹没在冷色调中, 无法观测到。将基阵接收数据与拷贝向量匹配的方法称为匹配场处理器。现在常见的匹配场处理器为线性 Bartlett 处理器和最小方差(MV)处理器。下面假设频率为给定值 f , 直接给出两个处理器的模糊度表面函数或称作目标函数^[9]。

$$P_{Bart}(r, z) = \mathbf{w}^H(r, z) \mathbf{R}_x \mathbf{w}(r, z) \quad (3)$$

$$P_{MV}(r, z) = \frac{1}{\mathbf{w}^H(r, z) \mathbf{R}_x^{-1} \mathbf{w}(r, z)} \quad (4)$$

其中 $(\cdot)^H$ 表示复共轭转置, $\mathbf{w}(r, z) = \mathbf{v}_m(r, z)$, $\mathbf{v}_m(r, z)$ 为归一化的拷贝向量。

3 广义匹配场矩阵滤波器

由式(1)可知, 常规广义滤波匹配场噪声抑制问题可以表述为^[8]:

$$\mathbf{H} \mathbf{v}_s = \mathbf{0} (\forall \mathbf{v}_s \in \mathbf{S}), \quad \mathbf{H} \mathbf{v}_p = \mathbf{v}_p (\forall \mathbf{v}_p \in \mathbf{P}) \quad (5)$$

其中, $\mathbf{H}$ 为所求的滤波矩阵, $\mathbf{v}_s$ 和 $\mathbf{v}_p$ 分别为非感兴趣的阻带响应向量和通带响应向量, 下标 $s=1, 2, \dots, S$, $p=1, 2, \dots, P$, $\mathbf{S}$ 为阻带响应向量集, $\mathbf{P}$ 为通带响应向量集。由于很难找到满足式(5)的解, 因此可以采用优化设计方法使该式尽量得到满足:

$$\min_{\mathbf{H}} \max_{\mathbf{v}_p \in \mathbf{P}} \|\mathbf{H} \mathbf{v}_p - \mathbf{v}_p\|$$

$$\text{subject to } \|\mathbf{H} \mathbf{v}_s\| \leq \delta_1 \quad (6a)$$

$$\|\mathbf{H}\| \leq \delta_2 \quad (6b)$$

其中 $\|\cdot\|$ 表示矩阵的 Frobenius 范数, δ_1 、 δ_2 为约束系数, 公式(6b)为限制滤波器系数, 用来提高矩阵滤波器的稳健性。

由该优化问题, 可以发现如下问题:

(1) 在设计空域滤波器的时候必须知道阻带位置, 也即必须知道需要抑制的声源信息。

(2) 阻带的旁瓣级由 δ_1 决定, 为了求解最优化问题时有解, δ_1 必须非零, 所以如果阻带内存在功率很强的干扰, 预期设定的阻带衰减可能并不能将干扰完全滤除。所以固定阻带旁瓣级的做法不能满足这种情况下的要求。

(3) 通带和阻带之外的区域存在干扰时, 该矩阵滤波器可能不能将其滤除。

由于这些原因, 存在未知强干扰条件下, 我们有必要研究匹配场自适应空域矩阵滤波的方法。

4 匹配场自适应空域矩阵滤波器设计方法

自适应空域矩阵滤波器的原理是求得这样一个矩阵, 使得对阵列接收数据进行滤波后, 通带范围的数据尽量保持不变的条件下, 其他区域的能量和最小。

如果采用式(1)的接收数据模型, 考虑理想情况, 满足式(5)的条件下, 可以得到:

$$\sum_{d=1}^D s i_d(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) = 0$$

那么矩阵滤波器对阵列接收数据进行滤波, 得:

$$\begin{aligned} \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}(t) = & \sum_{m=1}^M s d_m(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m) + \sum_{d=1}^D s i_d(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) + \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} = \\ & \sum_{m=1}^M s d_m(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m) + \sum_{d=1}^Q s i_d(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) + \\ & \sum_{d=Q+1}^D s i_d(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) + \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} = \\ & \sum_{m=1}^M s d_m(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_m, z_m, f_m) + \sum_{d=Q+1}^D s i_d(t) \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) + \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $\mathbf{H}$ 为 $N \times N$ 维矩阵, $s i_d(t) (d=1, 2, \dots, Q)$ 为已知的阻带内的干扰信号, $s i_d(t) (d=Q+1, Q+2, \dots, D)$ 为通带及阻带之外未知的干扰。欲得到理想的空域矩阵滤波器 $\mathbf{H}$, 需要使式(7)中除了通带以外的每一项都尽可能的小, 即使每一个 $N \times 1$ 维的向量 $\mathbf{H} \cdot \mathbf{v}(r_d, z_d, f_d) (d=Q+1, Q+2, \dots, D)$ 中的每一个元素都尽可能的小, 而在实际问题处理过程中并不知道 $\mathbf{v}(r_d, z_d, f_d)$, 故可建立约束使式(7)中每一个元素的平方和最小。该问题可以转化为如下的最优化问题:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{H}} \quad & \text{tr}\{\mathbf{H} \mathbf{R}_x \mathbf{H}^H\} \\ \text{subject to} \quad & \|\mathbf{H} \mathbf{v}_s\| \leq \mu_2 \end{aligned} \quad (8a)$$

$$\|\mathbf{H} \mathbf{v}_p - \mathbf{v}_p\| \leq \mu_3 \quad (8b)$$

$$\|\mathbf{H}\| \leq \mu_4 \quad (8c)$$

其中 $\text{tr}\{\}$ 表示求矩阵的迹, μ_2, μ_3, μ_4 为约束系数, 此处没有取 μ_1 是为与后式一致。对数据协方差矩阵 $\mathbf{R}_x$ 做 Cholesky 分解, 可得:

$$\mathbf{R}_x = \mathbf{Q}^H \mathbf{Q} \quad (9)$$

将式(9)带入式(8), 得到:

$$\text{tr}\{\mathbf{H} \mathbf{R}_x \mathbf{H}^H\} = \text{tr}\{(\mathbf{H} \mathbf{Q}^H)(\mathbf{H} \mathbf{Q}^H)^H\} = \|\mathbf{H} \mathbf{Q}^H\|^2 \quad (10)$$

所以此最优化问题可以转化为:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{H}} \quad & \mu_1 \\ \text{subject to} \quad & \|\mathbf{H} \mathbf{Q}^H\| \leq \mu_1 \\ & \|\mathbf{H} \mathbf{v}_s\| \leq \mu_2 \\ & \|\mathbf{H} \mathbf{v}_p - \mathbf{v}_p\| \leq \mu_3 \\ & \|\mathbf{H}\| \leq \mu_4 \end{aligned} \quad (11)$$

为求解矩阵滤波器 $\mathbf{H}$, 需要将 $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_N]^T$ 按行分解重排^[10], $\mathbf{h}_n$ 为列向量, 将这 N 个列向量按行序重排成一个列向量得到 $\mathbf{h} = [\mathbf{h}_1^T, \mathbf{h}_2^T, \dots, \mathbf{h}_N^T]^T$, 变化式(11)可得:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{H}} \quad & \mu_1 \\ \text{subject to} \quad & \|\mathbf{I} \otimes (\mathbf{Q}^H)^T \cdot \mathbf{h}\| \leq \mu_1 \\ & \|\mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_s^T \cdot \mathbf{h}\| \leq \mu_2 \\ & \|\mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_p^T \cdot \mathbf{h} - \mathbf{v}_p\| \leq \mu_3 \\ & \|\mathbf{h}\| \leq \mu_4 \end{aligned} \quad (12)$$

其中 $\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$ 表示 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 的内积。定义 $\mathbf{y} = [\mu_1, \mathbf{h}^T]^T$, $\mathbf{b} = [-1, 0_{1 \times N^2}]^T$ 使得 $\mu_1 = -\mathbf{b}^T \mathbf{y}$, 可将此最优化问题转化为二阶锥形式^[11]:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mathbf{I} \otimes (\mathbf{Q}^H)^T \cdot \mathbf{h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0_{N^2 \times 1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -1 & 0_{1 \times N^2} \\ 0_{N^2 \times 1} & -\mathbf{I} \otimes (\mathbf{Q}^H)^T \end{bmatrix} \mathbf{y} = \\ \mathbf{c}_m - \mathbf{A}_m^T \mathbf{y} \in \mathcal{K}_{\text{cone}_m^{N^2+1}}, \quad m=1 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mu_2 \\ \mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_s^T \cdot \mathbf{h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_2 \\ 0_{N \times 1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0_{1 \times N^2} \\ 0_{N \times 1} & -\mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_s^T \end{bmatrix} \mathbf{y} = \\ \mathbf{c}_s - \mathbf{A}_s^T \mathbf{y} \in \mathcal{K}_{\text{cone}_s^{N+1}}, \quad s=2, 3, \dots, 1+S \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mu_3 \\ \mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_p^T \cdot \mathbf{h} - \mathbf{v}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_3 \\ -\mathbf{v}_p \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0_{1 \times N^2} \\ 0_{N \times 1} & -\mathbf{I} \otimes \mathbf{v}_p^T \end{bmatrix} \mathbf{y} = \\ \mathbf{c}_p - \mathbf{A}_p^T \mathbf{y} \in \mathcal{K}_{\text{cone}_p^{N+1}}, \quad p=2+S, 3+S, \dots, 1+S+P \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mu_4 \\ \mathbf{h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_4 \\ 0_{N^2 \times 1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0_{1 \times N^2} \\ 0_{N^2 \times 1} & -\mathbf{I}_{N^2 \times N^2} \end{bmatrix} \mathbf{y} = \\ \mathbf{c}_l - \mathbf{A}_l^T \mathbf{y} \in \mathcal{K}_{\text{cone}_l^{N^2+1}}, \quad l=2+S+P \end{aligned} \quad (16)$$

令 $\mathbf{c} = [\mathbf{c}_1^T, \mathbf{c}_2^T, \dots, \mathbf{c}_{2+S+P}^T]^T$, $\mathbf{A}^T = [\mathbf{A}_1^T, \mathbf{A}_2^T, \dots, \mathbf{A}_{2+S+P}^T]^T$, 则约束最优化问题(9)可写成二阶锥的标准形式^[12]:

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{y}} \quad & \mathbf{b}^T \mathbf{y} \\ \text{subject to} \quad & \mathbf{c} - \mathbf{A}^T \mathbf{y} \in \mathcal{K}_{\text{cone}_1^{N^2+1}} \times \\ & \mathcal{K}_{\text{cone}_2^{N+1}} \times \dots \times \mathcal{K}_{\text{cone}_{1+S+P}^{N+1}} \times \mathcal{K}_{\text{cone}_{2+S+P}^{N^2+1}} \end{aligned} \quad (17)$$

可以利用软件包求解得到 $\mathbf{h} = [\mathbf{h}_1^T, \mathbf{h}_2^T, \dots, \mathbf{h}_N^T]^T$, 通过重新排列便可以得到自适应空域矩阵滤波器 $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_N]^T$ 。

5 匹配场仿真实验

为方便比较, 假设声速剖面、海底深度、海底结构与文献[5]相同, 从水下 16m 开始放置一条 24 元垂直均匀线列阵, 阵元间隔 4m, 匹配场观测区域为水平方向与基阵相距 1000~8000m、水下 0~100m 范围。设通带为水下 40~100m 的所有区域, 阻带为水平方向 4900~5100m、水下 0~16m 的区域, 如图 1 所示。在此基础上进行实验研究。

实验 1: 常规匹配场广义空域滤波器性能验证

水下存在通带内一坐标为(5000, 80)的目标点声源和阻带内一坐标为(5000, 12)的干扰点声源。假设两声源频率均为 350Hz。当两信号信噪比分别为 15dB 和 25dB 时, 控制阻带区域低于 -13dB, 运用文献[5]提出的广义空域滤波器和改进 Bartlett 权可以使旁瓣区域得到很好的控制, 经过空域滤波处理后, 可以分辨出滤波前被掩盖的信号。如图 2(a)

所示。

实验 2: 常规匹配场广义空域滤波器的不足

如果知道干扰声源位置信息,但是并不了解该声源信噪比的情况下,对于旁瓣,设定的衰减程度可能不足以抑制掉干扰,正如引言所提到的,空域矩阵滤波后的干扰残余会严重影响后续处理方法的性能。假设阻带内干扰声源信噪比为 35dB,其他条件与实验 1 相同。经过空域滤波处理后的模糊度表面如图 2(b)所示。分析可知,由于不知道干扰声源的信噪比,无法得到阻带需要的衰减度。所设

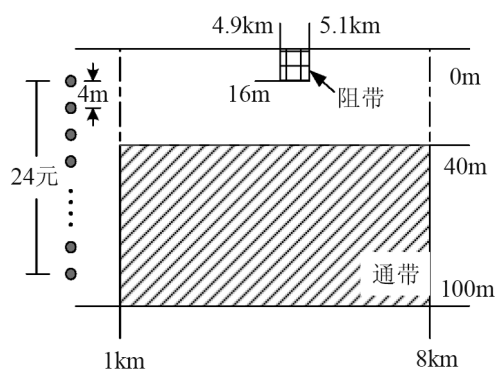
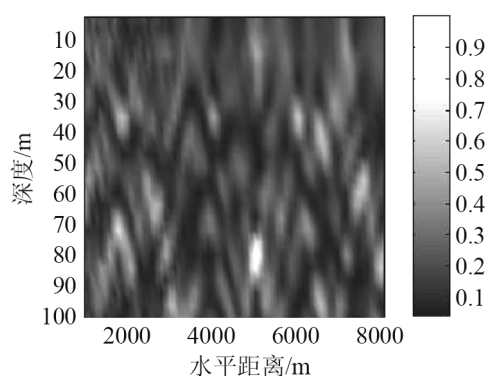
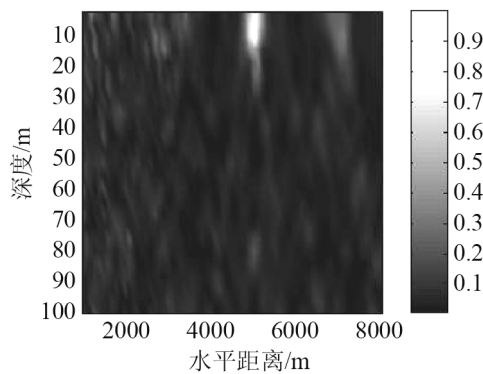


图 1 阵元位置关系及阻带通带分布

Fig.1 Array geometry and relationship between pass band and stopband



(a) 已知干扰



(b) 未知强干扰

图 2 文献[5]中方法对噪声的抑制效果

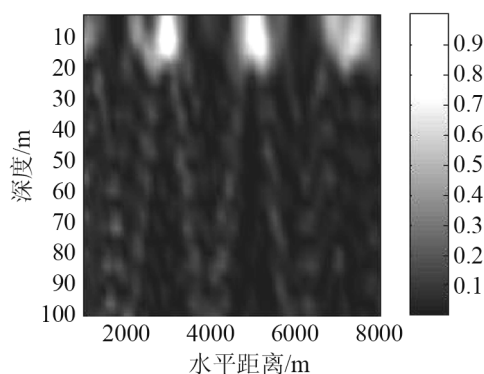
Fig.2 Suppression effect by the method from reference[5]

置的阻带衰减(-13dB)并不准确,导致滤波后仍然不能消去干扰的影响。

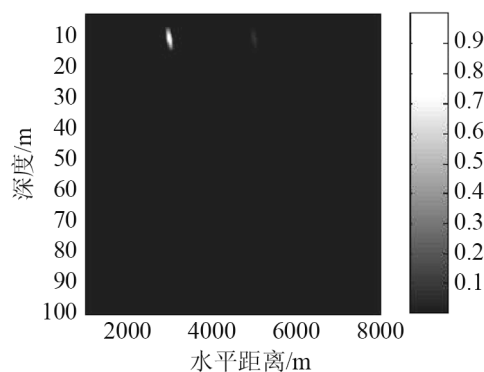
实验 3: 广义空域自适应滤波器性能验证

假设水下存在通带内两个坐标为(4000, 80)、(4500, 80),信噪比均为 15dB 的目标点声源,阻带内存在一坐标为(5000, 12)、信噪比为 25dB 的干扰点声源,该干扰声源为已知,因此设定阻带衰减 -13dB,阻带之外另一干扰点声源坐标为(3000, 12),信噪比为 35dB,不对此声源进行预期处理,将它看做未知信号。对数据进行矩阵滤波之前,运用 Bartlett 匹配场处理器和 MV 匹配场处理器所得模糊度表面分别如图 3(a)、3(b)所示。运用本文所述的广义空域自适应滤波器对阵列数据进行滤波后得到数据协方差矩阵,再通过 Bartlett 匹配场处理器和 MV 匹配场处理器所得模糊度表面分别如图 4(a)和图 4(b)所示。

首先,比较 Bartlett 匹配场处理器在自适应空域矩阵滤波器前后对目标的定位效果。比较图 3(a)和图 4(a),滤波前,尽管用 Bartlett 匹配场处理器不能分辨目标信号,滤波之后可以轻易分辨出两个想要得到的目标声源位置。



(a) 滤波前 Bartlett 处理所得模糊度表面



(b) 滤波前 MV 处理所得模糊度表面

图 3 自适应空域滤波前模糊度表面

Fig.3 Normalized matched field ambiguity surfaces before adaptive spatial matrix filter

其次, 观察 MV 匹配场处理器在自适应空域矩阵滤波器前后对目标的定位效果。从图 3(b)和图 4(b)中可以看出, 具有高分辨率的 MV 匹配场处理器对于存在强干扰的情况也不能发挥应有的效能, 经过广义空域自适应滤波器处理后, 再运用匹配场的模糊度函数对目标进行定位, 非常有效地抑制了已知的和未知的干扰, 极大提高了分辨目标的效率。

图 5 显示了该空域滤波器对观察区域内所有离散网格的拷贝向量的归一化响应范数的大小。从图

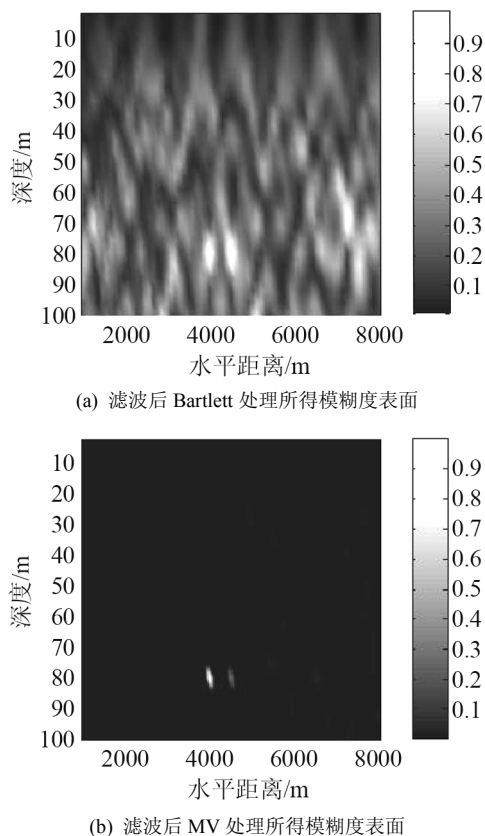


图 4 自适应空域滤波后模糊度表面

Fig.4 Normalized matched field ambiguity surfaces after adaptive spatial matrix filter

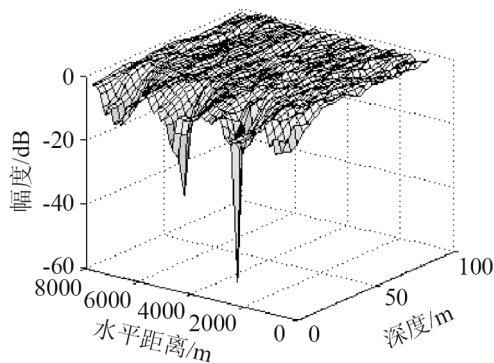


图 5 自适应空域滤波器的空间抑制性能

Fig.5 Suppression performance of an adaptive spatial matrix filter

中可以看到, 在通带范围内, 拷贝向量的响应范数大而平坦, 在存在干扰的区域, 自适应地形成了非常明显的凹陷, 而且凹陷的深度与该处干扰的信噪比成比例关系。由此再次证明了自适应空域矩阵滤波在强干扰条件下对匹配场定位的良好预滤波效果。

6 结论

传统的匹配场空域矩阵滤波在特定的情况下成功实现了对已知干扰声源的抑制, 但对于未知方位未知声源能量的情况并不能得到令人满意的结果。本文将自适应空域矩阵滤波理论应用于存在强干扰情况下的匹配场目标定位问题中, 通过设置多约束, 分别控制阻带、通带区域和滤波矩阵的范数, 并使滤波后通带外其他区域的能量和最小, 得到理想的匹配场自适应空域矩阵滤波器。设计该滤波器时核心问题是根据实际情况的需要选择好通带的范围, 错误的选取通带范围会对噪声抑制效果带来巨大的影响。如果选取的通带并非目标声源所在区域, 滤波器会将声源当作干扰抑制掉; 相反, 如果选取的通带中包含干扰, 那么所设计的矩阵滤波器不能完全实现应有的功能。一般情况下, 特定种类的水下声源是有区域特征的, 因此, 针对不同情况做出正确的通带选取, 合理的利用自适应空域矩阵滤波器, 在匹配场目标定位问题上将发挥很好的实用效果。

参 考 文 献

- [1] 王静, 黄建国. 水声信号处理中匹配场处理技术研究的现状和展望[J]. 声学技术, 2000, 19(1): 34-38.
WANG Jing, HUANG Jianguo. An survey of matched-field processing in acoustical signal processing[J]. Technical Acoustics, 2000, 19(1): 34-38.
- [2] 杨坤德, 马远良. 浅海环境参数宽带匹配场反演研究[J]. 声学技术, 2002, 21(3): 150-152.
YANG Kunde, MA Yuanliang. Broadband matched-field inversion for shallow water environment parameters[J]. Technical Acoustics, 2002, 21(3): 150-152.
- [3] 邹士新, 杨坤德. 几种优化算法在浅海匹配场反演中的性能比较[J]. 声学技术, 2005, 24(1): 4-9.
ZOU Shixin, YANG Kunde. Performance comparison of optimization algorithms in matched field inversion[J]. Technical Acoustics, 2005, 24(1): 4-9.
- [4] 陈志菲, 孙进才. 自相关域信号相位匹配原理的正弦信号参数估计[J]. 声学技术, 2007, 26(4): 718-722.
CHEN Zhifei, SUN Jincai. Parameter estimation for sinusoidal signals using signal phase matching principle in the autocorrelation domain[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(4): 718-722.
- [5] 鄢社锋, 马远良. 匹配场噪声抑制: 广义空域滤波方法[J]. 科学通报, 2004, 49(18): 1909-1912.

- YAN Shefeng, MA Yuanliang. Matched field noise suppression: A generalized spatial filtering approach[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, **49**(18): 1909-1912.
- [6] 鄢社锋, 侯朝焕, 马晓川. 矩阵空域预滤波目标方位估计[J]. 声学学报, 2007, **32**(2): 151-157.
- YAN Shefeng, HOU Chaohuan, MA Xiaochuan. Matrix spatial prefiltering approach for direction-of-arrival estimation[J]. Acta Acustica, 2007, **32**(2): 151-157.
- [7] 马远良, 鄢社锋, 杨坤德. 匹配场噪声抑制: 原理及对水听器拖曳线列阵的应用[J]. 科学通报, 2003, **48**(12): 1274-1278.
- MA Yuanliang, YAN Shefeng, YANG Kunde. Matched field noise suppression: Principle with application to towed hydrophone line array [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, **48**(12): 1207-1211.
- [8] 冯杰, 杨益新, 孙超. 自适应空域矩阵滤波器设计和目标方位估计[J]. 系统仿真学报, 2007, **19**(20): 4798-4802.
- FENG Jie, YANG Yixin, SUN Chao. Adaptive Spatial Matrix Filter Design with Application to DOA Estimation[J]. Journal of System Simulation, 2007, **19**(20): 4798-4802.
- [9] 孙超. 水下多传感器阵列信号处理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007. 288-290.
- SUN Chao. Underwater Multi-sensor array signal processing[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007. 288-290.
- [10] 鄢社锋. 水听器阵列波束优化与广义空域滤波研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005. 99-100.
- YAN Shefeng. Hydrophone array optimization with extension to generalized spatial filtering[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2005, 99-100.
- [11] Yan S, Ma Y. A unified framework for designing FIR filters with arbitrary magnitude and phase response[J]. Digital Signal Processing, 2004, **14**(6): 510-522.
- [12] Sturm J. Using SeDuMi 1.02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones[J]. Optimization methods and software, 1999, **11**(1): 625-653.