

双基地声呐发射声屏蔽技术

芦嘉^{1,2}, 生雪莉^{1,2,3}, 凌青³, 董伟佳^{1,2}, 伍飞云⁴, 孙筱逸^{1,2}

(1. 哈尔滨工程大学 水声技术重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨工程大学 水声工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 3. 复杂舰船系统仿真重点实验室, 北京 100161; 4. 厦门大学 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 基线附近区域为双基地声呐的探测盲区, 当目标位于基线区域时, 目标回波与强直达波干扰同时同向到达, 基于空域滤波等的传统直达波抑制方法失效。为实现双基地声呐对盲区内目标的探测, 提出了一种适用于多发射阵元系统的发射声屏蔽技术。发射声屏蔽技术利用目标回波与直达波相异的多途信道结构特性, 自动屏蔽在接收站位置处的直达波而不影响目标回波, 且不需接收站进行任何后续处理。在已知回波信道信息时, 发射声屏蔽技术可进一步实现对回波信号的聚焦, 提高信干比。仿真结果表明, 在不同信道条件下发射声屏蔽均能有效抑制直达波干扰。利用发射声屏蔽技术, 双基地声呐能够实现对基线区内目标的检测。

关键词: 发射声屏蔽; 双基地声呐; 盲区目标探测; 直达波抑制; 自屏蔽信号; 正交匹配追踪

doi: 10.11990/jheu.201503084

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1390.U.20150728.1414.005.html>

中图分类号: TB332 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7043(2015)09-1177-06

Transmission shielding technology for bistatic sonar

LU Jia^{1,2}, SHENG Xueli^{1,2,3}, LING Qing³, DONG Weijia^{1,2}, WU Feiyun⁴, SUN Xiaoyi^{1,2}

(1. Acoustic Science and Technology Laboratory, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 3. Science and Technology on Complex Ship Systems Simulation Laboratory, Beijing 100161, China; 4. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technique of the Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The area near the baseline is a dead zone for bistatic sonar. The echo and the strong direct wave will arrive in the same place simultaneously when the target is in the baseline area and the direct wave suppression method based on a spatial filter will fail. To detect targets in the dead zone, a transmission shielding method for a multi-element transmit system is proposed. The transmission shielding automatically suppresses the direct wave at the receiving station utilizing structural differences in multiple channels between the echo and the direct wave. The transmission shielding further focuses on the echo, so as to improve the Signal-Noise Ratio, using known echo channel information. The simulation results show the transmission shielding method can suppress direct wave interference for different multipath channels. Bistatic sonar can detect targets in the baseline area utilizing the transmission shielding method.

Keywords: transmission shielding; bistatic sonar; target detection; dead zone; direct wave suppression; self-shielding signal; orthogonal matching pursuit

双基地声呐的发射站与接收站远距离分开, 且接收站处于被动工作模式, 因而具有良好的隐蔽性, 抗干扰能力以及更大的覆盖范围^[1-2]。然而双基地声呐的几何分布与探测模式使得其基线区(发射站与接收站连线附近区域)成为目标探测盲区^[3]。不同于一般的直达波干扰问题, 当目标位于基线区时, 目标回波与直达波同时, 同向到达接收站, 二者在时域、空域均发生混叠。以空域滤波^[4]为代表的一类直达波抑制方法尽管能够实现低信干比下的目标回波检测, 但是对位于基线区, 尤其是位于基线上的目

标则无能为力; 而基于自适应对消器的直达波抑制方法容易同时抵消掉目标回波。文献[5]提出了基于巴宾奈特原理的双基地声呐前向探测方法, 但需要目标保持运动并穿过双基地声呐基线, 而且需要较长的累积检测时间。

针对双基地声呐基线区的直达波干扰问题, 本文提出了发射声屏蔽技术。发射声屏蔽技术能有效抑制沿直达信道到达接收站的直达波分量而不削弱目标回波分量, 并且无需接收端再进行屏蔽处理。利用发射声屏蔽技术, 双基地声呐能实现对基线盲区内目标的有效检测。

收稿日期: 2015-03-27.

网络出版时间: 2015-07-28.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51179034); 海洋工程国家重点实验室(上海交通大学)资助项目(1211).

作者简介: 芦嘉(1987-), 男, 博士研究生;

生雪莉(1977-), 女, 副教授.

通信作者: 生雪莉, E-mail: shengxueli@aliyun.com.

1 双基地声呐发射声屏蔽技术

1.1 双基地声呐探测盲区

典型的双基地声呐系统由远距离分布的发射站

和接收站组成,并基于合作方式对目标进行探测。双基地声呐具有独特的探测优势,然而却难以探测到基线区内的目标,使其覆盖范围内存在探测盲区。图1为双基地声呐盲区示意图,图中所示为双基地声呐发射站、接收站与目标1、目标2在水平面的投影位置。目标1远离虚线区域,回波1经历的总传播距离明显大于直达波传播距离,回波1沿不同入射方向,落后于直达波到达接收站。目标2位于虚线区域内,回波2与直达波传播距离几乎相同,并沿与直达波几乎相同入射方向,同时,同向达到接收站。当目标位于虚线区域中时,目标回波在强直达波干扰下难以被双基地声呐检测与分辨。虚线所示的双基地声呐基线附近区域即为双基地声呐探测盲区。

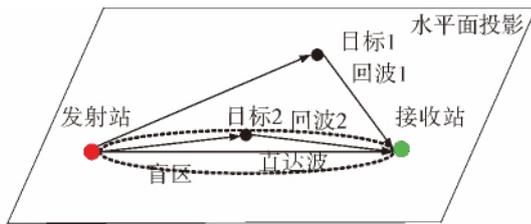


图1 双基地声呐探测盲区示意图
Fig. 1 The dead zone of bistatic sonar

目标回波尽管与直达波波达方向一致,但二者历经了不同的传播路径(信道冲激响应),相异的多途信道结构为在直达波干扰下检测、分辨目标回波提供了可能。

1.2 发射声屏蔽

Kuperman 等将时间反转镜应用于混响抑制与回波增强^[6],该方法被推广为声屏蔽。声屏蔽也被用于屏蔽其他方向干扰源^[7],但其独特的优势在于能克服传统阵列信号处理无法分辨同一方向上的不同声源的缺陷^[8]。当期望信号与非期望信号到达接收站的信道结构存在明显差异时,声屏蔽技术可在保留期望信号的同时,屏蔽来自干扰源的非期望信号。上述文献与应用中,声屏蔽处理均是在接收端进行,这里称其为接收声屏蔽。利用信道信息的信号处理过程不只可以在接收端进行,也可以在发射端^[9]预先实现。针对双基地声呐存在探测盲区的缺陷,本文将发射端预处理技术与接收声屏蔽相结合,提出了双基地声呐发射声屏蔽技术,用来实现双基地声呐盲区内的目标探测。

发射声屏蔽利用已知的信道状态信息对原始发射信号进行预处理,能够抑制经历特定传播路径到达接收站的信号成分,即能够屏蔽发射站到特定空间位置处的信号传播。

设双基地声呐发射站为 M 元发射阵,接收站为单阵元接收。从各发射阵元到接收站的直达波干扰所经历的时域信道可以表示为 $\mathbf{h}_i = [h_{i,1}, h_{i,2}, \dots, h_{i,M}]$,从各发射阵元经目标反射到接收站的目标回

波所经历的时域信道可以表示为 $\mathbf{h}_s = [h_{s,1}, h_{s,2}, \dots, h_{s,M}]$ 。对应的,信道在频域可以表示为 $\mathbf{H}_i = [H_{i,1}, H_{i,2}, \dots, H_{i,M}]$, $\mathbf{H}_s = [H_{s,1}, H_{s,2}, \dots, H_{s,M}]$,其中, $H_m = \text{FFT}(h_m)$, $m = 1, 2, \dots, M$ 。

当未发现目标或回波信道信息未知时,发射声屏蔽只用来屏蔽直达波信号,此时屏蔽权为

$$\mathbf{W} = [\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \quad (1)$$

式中: \mathbf{I} 为 $M \times M$ 维单位阵。

利用屏蔽权对原始信号预处理后,得到自屏蔽发射信号:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{S}\mathbf{W} = \mathbf{S}[\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \quad (2)$$

式中: \mathbf{S} 为发射阵原始发射信号。

接收信号为

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{Z}\mathbf{H}_i + \mathbf{N} = \mathbf{S}[\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \mathbf{H}_i + \mathbf{N} = \\ &= \mathbf{S}[\mathbf{H}_i - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i] + \mathbf{N} = \\ &= \mathbf{S}[\mathbf{H}_i - \mathbf{H}_i] + \mathbf{N} = \mathbf{0} + \mathbf{N} \end{aligned} \quad (3)$$

如式(3)所示,自屏蔽信号经直达信道在接收站处响应为零,接收站只接收到本地噪声。

当检测到目标并已获得回波信道信息时,发射声屏蔽在屏蔽直达波信号时,可实现对回波信号的聚焦,此时聚焦屏蔽权为

$$\mathbf{W} = \mathbf{H}_s^* [\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \quad (4)$$

利用聚焦屏蔽权预处理原始信号后,得到聚焦自屏蔽发射信号

$$\mathbf{Z} = \mathbf{S}\mathbf{W} = \mathbf{S}\mathbf{H}_s^* [\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \quad (5)$$

接收信号为

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{Z}\mathbf{H}_i + \mathbf{Z}\mathbf{H}_s + \mathbf{N} = \\ &= \mathbf{0} + \mathbf{S}\mathbf{H}_s^* [\mathbf{I} - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^*] \mathbf{H}_s + \mathbf{N} = \\ &= \mathbf{0} + \mathbf{S}\mathbf{H}_s^* [\mathbf{H}_s - \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_s] + \mathbf{N} = \\ &= \mathbf{0} + \mathbf{S}\mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s - \mathbf{S}[\mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_s] + \mathbf{N} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $\mathbf{S}\mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s$ 为聚焦输出,当 \mathbf{H}_s 与 \mathbf{H}_i 当不相关时, $\mathbf{S}[\mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_i (\mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_i)^{-1} \mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_s]$ 相对于 $\mathbf{S}\mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s$ 为小量。

根据式(3),在理想条件下(完全准确估计出信道信息),发射声屏蔽技术能够在接收站空间位置处自动形成对直达信号的屏蔽,完全抑制接收站处对直达波的响应,无需接收站再进行任何屏蔽算法的处理。发射声屏蔽节省了接收站屏蔽算法处理的开销,因而能够大幅减小接收端的算法处理复杂度和运算量,节省系统资源。相较于接收声屏蔽,发射声屏蔽适用于各种单阵元接收,或受限于载体尺寸接收阵元较少的水声信号处理平台。此外,接收阵中水平阵相对较多,在发射端采用垂直阵进行发射,有助于提高屏蔽效果。根据式(6),发射聚焦声屏蔽算法在抑制直达波的同时,能够实现对目标回波的聚焦增强。

相比于接收声屏蔽,发射声屏蔽的另一大优点在于避免了接收端屏蔽权对噪声的放大作用且不会

影响噪声的统计特性。发射声屏蔽流程如图 2。

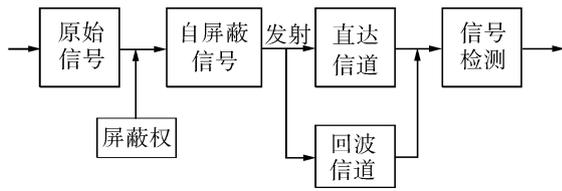


图 2 发射声屏蔽流程图

Fig. 2 The flow chart of the transmission shielding

1.3 基于正交匹配追踪的发射声屏蔽信道估计

获得发射声屏蔽的屏蔽权需要预先对信道进行估计,信道估计的质量将严重影响对直达波信号的抑制效果。文献[10]中给出了一种高干噪比下的接收声屏蔽屏蔽权的获得方法,这里称其为频域法,该方法不需估计出信道,能直接对屏蔽权进行估计。但该方法对噪声能量十分敏感,实际应用限制较大。时反镜聚焦技术估计信道时常采用的相关法^[11]也与声屏蔽对信道的估计需求不匹配。其估计时域信道时,引入的大量增生途径,破坏了信道的时域结构与频域特征。

发射声屏蔽要求信道估计算法能准确估计多途信道途径的数目。Cotter 等采用匹配追踪(matching pursuit, MP)算法对稀疏信道进行估计^[12],验证了 MP 算法比最小二乘法能更准确的估计出多途信道途径数目。正交匹配追踪(orthogonal matching pursuit, OMP)算法^[13]加快了 MP 算法的收敛速度,同时准确估计多途信道途径数目的能力强于 MP 算法。本文采用 OMP 算法作为发射声屏蔽技术的信道估计算法。采用 OMP 算法估计信道步骤如下。

记信道冲激响应函数 h , 信道长度为 L , 字典 $S = [s_1, s_2, \dots, s_L]$, 观测信号 $y = Sh + n$, 迭代次数为 K 。定义残差 $r_k, k = 0, 1, \dots, K, r_0 = y$ 。定义索引集 $\lambda_k, \lambda_k = \emptyset$ 。

第 k 次迭代时,从字典中找出与观测信号相关系数最大的原子,得到对应的索引:

$$\lambda_k = \underset{1 \leq l < L}{\operatorname{argmax}} |\langle r_k, s_l \rangle| \quad (7)$$

更新索引集 $\lambda_k = \lambda_{k-1} \cup \{\lambda_k\}$,由最小二乘可得

$$\hat{h} = \underset{1 \leq l < L}{\operatorname{argmin}} \|y - S_{\lambda_k} \hat{h}\| \quad (8)$$

更新残差 $r_k = y - S_{\lambda_k} \hat{h}$ 。迭代 K 次即可得到估计的信道 \hat{h} 。

2 基于发射声屏蔽的双基地声呐盲区目标检测

2.1 双基地声呐直达波屏蔽级

如图 3 所示,双基地声呐的发射站、接收站与目标在同一垂直平面,目标位于双基地声呐基线上,即目标回波与直达波波达方向一致。仿真中,发射站

采用四元垂直发射阵,阵元位置依次为(0,10)、(0,13)、(0,16)、(0,19),接收站采用单阵元接收,布放位置为(4000,30)。目标位于(1500,50)。声速剖面采用海洋实际测量数据,水深 70 m,见图 3。

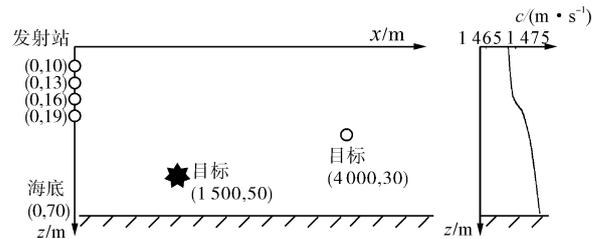


图 3 探测基线目标示意图及声速剖面

Fig. 3 The model of detecting the target on the baseline and sound speed profile

各发射阵元到接收阵元的多途信道根据射线声学模型计算得到,海底为三参数模型。图 4 为发射站各阵元到接收站的子信道图。信道扩展长度约 100 ms。各途径幅度为以最大途径幅度归一化后的相对值(相邻途径时延差小于采样间隔时,显示为合成后的等效途径,其相对幅度可大于 1)。原始信号为脉宽 500 ms,带宽 1~4 kHz 的 LFM 信号。采样频率 10 kHz。

考查发射声屏蔽技术对双基地声呐直达波干扰的抑制能力及不同信道估计方法对其的影响。假定此时目标尚未出现,接收信号中不含有目标回波。图 5 为发射原始信号时的接收信号频谱。直达波干扰强于噪声 20 dB,即 INR = 20 dB(总能量的比)。作为干扰的直达信号远强于背景噪声。

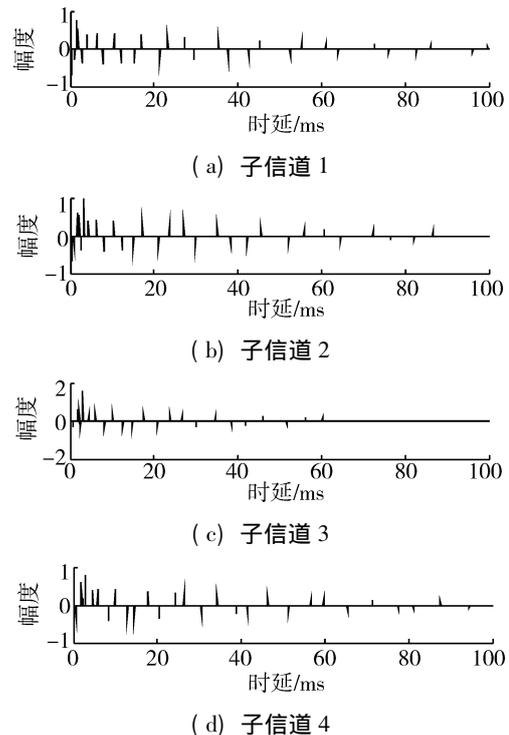


图 4 双基地声呐直达波信道

Fig. 4 The direct wave channel of bistatic sonar

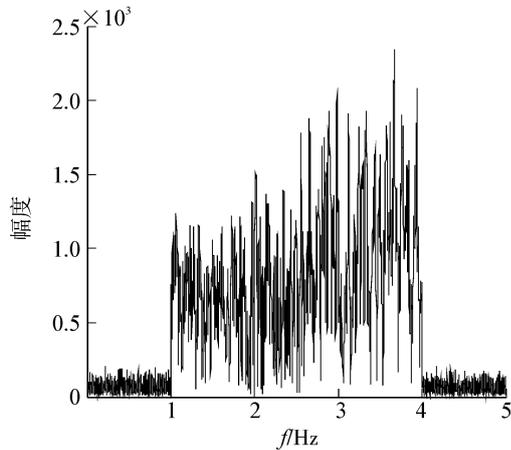


图5 发射原始信号时的接收信号频谱

Fig. 5 The frequency spectrum of receiving signals when transmitting the original signal

分别采用由真实信道、频域法、相关法、OMP 法估计的信道获得的屏蔽权来处理原始发射信号,得到 4 组自屏蔽信号。

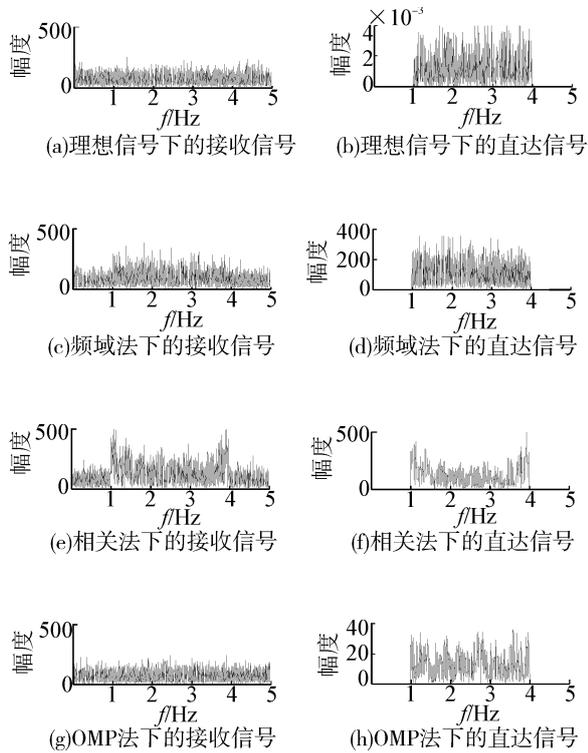


图6 发射声屏蔽下的接收信号与直达信号分量

Fig. 6 The receiving signal and the direct wave when transmitting the shielding signal

图6分别为发射上述4组自屏蔽信号时的接收信号与纯净的直达信号分量。根据图6(b),发射声屏蔽理论上能够在接收端完全抑制直达波信号。根据图6(d)、(f)、(h),发射声屏蔽屏蔽效果与信道估计质量有关,图示干燥比下,基于OMP法的发射声屏蔽能力最佳,基于相关法的屏蔽能力最差。根据图6(c)、(e)、(g),基于频域法和相关法的发射声屏蔽,在接收信号中仍可分辨出明显的直达波分

量,从而引起接收端的虚警;而基于OMP法的发射声屏蔽能够将强直达波压制到背景噪声以下,不会造成接收端的虚警。

为了定量衡量发射声屏蔽对直达波的抑制效果,引进屏蔽级的概念。屏蔽级:发射声屏蔽处理前接收信号中干扰信号的能量指标与发射声屏蔽处理后该指标的比值。屏蔽级越高,表明屏蔽效果越好。

定义最大幅度屏蔽级与平均幅度屏蔽级分别为

$$\vartheta_{\max} = \max\{P_o\} / \max\{P_s\} \quad (9)$$

$$\vartheta_E = E\{P_o\} / E\{P_s\} \quad (10)$$

式中: P_o 为发射原始信号时的接收信号带内频谱, P_s 为发射自屏蔽信号时的接收信号带内频谱。

图7为采用3种信道估计方法时,发射声屏蔽对直达波的屏蔽级随干燥比变化关系。可以看出,相关法受算法自身局限性,其对应的屏蔽能力受干燥比影响较小,在干燥比上升到一定程度后(约10 dB),发射声屏蔽对直达波的抑制能力不再提高。而采用频域法时,发射声屏蔽对直达波的抑制能力与干燥比成正比相关变化。采用OMP算法估计信道时,发射声屏蔽对直达波的抑制能力随干燥比增加而显著增强。尽管在干燥比到达一定程度后(约20 dB),屏蔽能力趋于稳定,但是在常规的干燥比变化范围内,OMP方法对应的屏蔽级均优于其他两种方法。

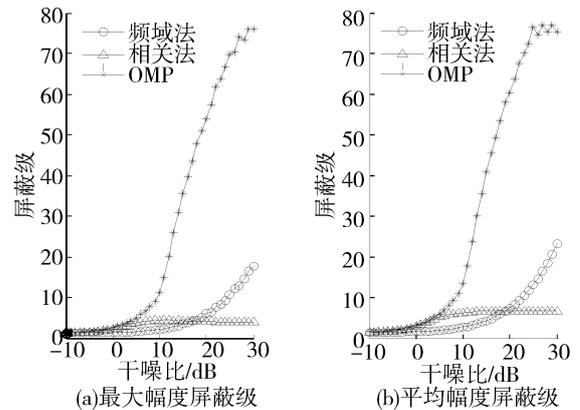


图7 不同信道估计法下的屏蔽级

Fig. 7 The shielding magnitude with different channel estimation methods

表1 声速剖面2

Table 1 Sound speed profile 2

深度 / m	0	15	42.4	55.3	60.7
声速 / (m · s ⁻¹)	1 527.7	1 528.0	1 525.0	1 524.4	1 525.1

表2、3给出了不同信道条件下,发射声屏蔽的平均幅度屏蔽级。声速剖面1已由图3给出,声速剖面2为三亚附近海域的实测数据,如表1所示。声速剖面1对应的发射阵元深度依次为10、13、16、19 m;声速剖面2对应的发射阵元深度为10、15、20、25 m。表2为信道随距离变化时的平均幅度屏蔽级,此时声速剖面1、2对应接收深度均为40 m。表3、4为信道随接收深度变化时的平均幅度屏蔽

级 此时声速剖面 1、2 对应传播距离同为 4 km。

根据表 2、3 结果,最小屏蔽级发生在声速剖面 2 35 m 接收深度对应情况。此时发射声屏蔽仍能将直达波压制到背景噪声以下,接收端不会发生虚警情况。综合分析,发射声屏蔽在不同信道条件下,均对直达波干扰有良好的屏蔽效果。

表 2 信道随距离变化时的平均幅度屏蔽级

Table 2 The average shielding magnitude depends on different propagation distances

距离 /km	2	3	4	5
声速剖面 1	89.87	87.16	88.33	74.98
声速剖面 2	98.68	88.91	92.66	81.13

表 3 不同接收深度下的平均幅度屏蔽级

Table 3 The average shielding magnitude depends on different receiving depths

深度 /m	25	35	45	55
声速剖面 1	59.53	83.75	90.64	81.48
声速剖面 2	79.86	56.34	96.73	90.73

2.2 基于正交匹配追踪的发射声屏蔽信道估计

2.2.1 基于发射声屏蔽的目标回波检测

如图 3 所示,目标在双基地声呐基线上,位于双基地声呐探测盲区中。此时目标回波为期望信号,直达波为干扰信号。下面考查双基地声呐对盲区内目标的检测能力。

图 8 为 SIR = -20 dB,分别发射原始信号与自屏蔽信号时的信号检测结果。图 8(a)、(c) 分别为发射原始信号时,不含有和含有目标回波的接收信号,在未对直达信号进行抑制时,接收站难以从中检测出回波信号分量,即无法实现对盲区内目标的检测。图 8(b)、(d) 显示出,当发射自屏蔽信号时,直达信号已经被压制到背景噪声级以下,而且当出现目标时,已可以从接收信号检测出目标回波。比较图 8(e)、(f),发射声屏蔽技术只抑制了直达波而并未削弱目标回波信号。

2.2.2 基于发射聚焦声屏蔽的目标回波检测

双基地声呐在以上实现对盲区目标探测的过程中,只是利用了直达波信道结构特性对直达信号进行抑制,并未对回波信号进行任何增强处理,属于纯屏蔽抑制。下面考虑在抑制直达波的同时,增强回波能量,以提高双基地声呐探测盲区目标的能力。假设接收站已获知回波信道结构特性,可以采用章节 1.2 中的发射聚焦声屏蔽技术。

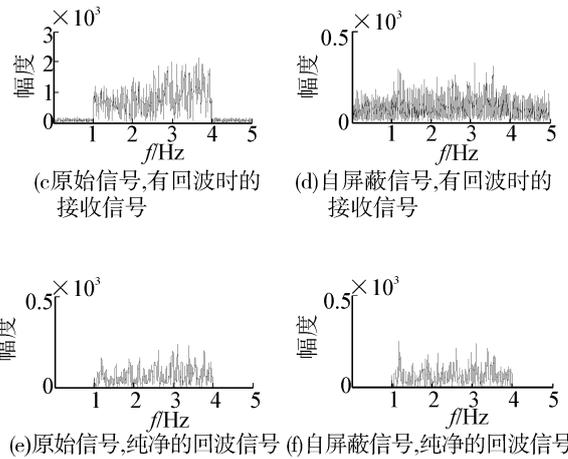
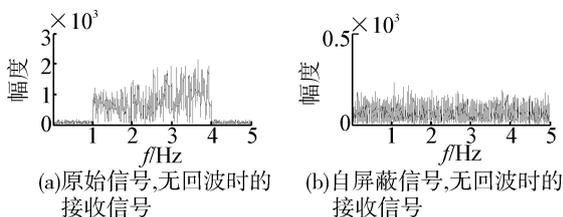


图 8 发射原始信号、自屏蔽信号时的回波检测结果
Fig. 8 The echo detection result when transmitting the original signal and the self-shielding signal

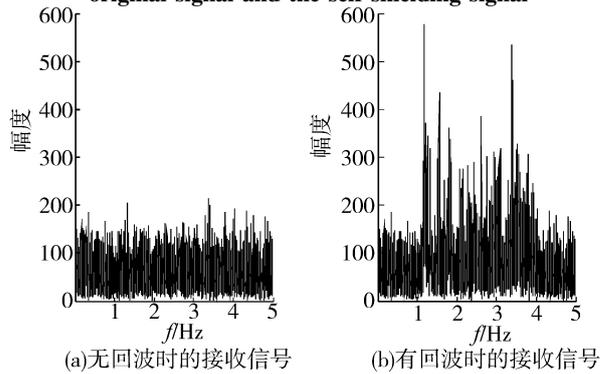


图 9 发射聚焦自屏蔽信号时的回波检测结果
Fig. 9 The echo detection result when transmitting the self-shielding signal

采用发射聚焦自屏蔽技术,图 9(a) 为不存在目标时的接收信号,图 9(b) 为存在目标时的接收信号。比较图 9、图 8,发射聚焦声屏蔽能够增强目标回波能量,双基地声呐利用发射聚焦声屏蔽能进一步提高对基线盲区内目标的检测能力。

相对于单纯的发射声屏蔽,发射聚焦声屏蔽还应当注意:采用的直达信道为估计信道,无法达到理想情况下的完全屏蔽,存在屏蔽残量,而发射聚焦声屏蔽增加了回波信道成分,会影响屏蔽残量,甚至会放大屏蔽参量。

2.2.3 目标回波模型说明

目标位于双基地基线上,与发射站、接收站处于同一垂直面内。由射线声学模型计算出发射阵到达目标的本征声线及相应的入射角、时延、衰减等信息。将每一根入射到目标的声线,视为在垂直面内,以一定俯仰角入射到目标的独立平面波束,其在垂直面内的散射分布服从目标的散射函数。同样根据射线声学模型,计算该散射波达到接收站的本征声线,最终模拟得到回波信道。仿真中,散射函数为硬球指向性函数,见 [14] 其中 $ka = 4$ a 为小球半径 k 为介质中的声波波数, $k = 2\pi/\lambda$ λ 为波长。

图 10 为该仿真条件下,发射站到接收站回波信

道结构。本文的研究重点为对直达波的抑制,对回波模型、回波信道的仿真精确度要求较低。根据前文结果,当回波信道与直达波信道不具有高相关性时,发射声屏蔽均适用于双基地声纳的盲区目标探测。

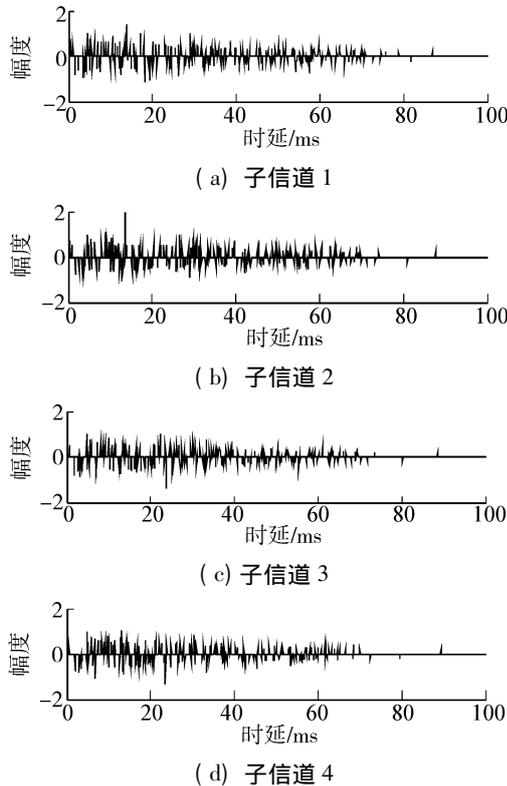


图 10 双基地声纳回波信道
Fig. 10 The echo channel of bistatic sonar

仿真结果表明基于 OMP 法的发射声屏蔽在常规干噪比范围内可以将直达波抑制到背景噪声级以下,在不引起接收站虚警情况下,实现对盲区内目标的回波信号检测。在已知回波信道条件下,发射声聚焦屏蔽能获得对目标回波的聚焦增益,进一步提高对盲区目标的探测能力。

3 结束语

通过本文研究得出以下结论。发射声屏蔽技术无需接收端处理,就能够在强直达波干扰下检测到同向目标回波,实现双基地声纳对基线盲区内的目标检测。在已知回波信道条件下,发射声聚焦屏蔽能获得对目标回波的聚焦增益,进一步提高对盲区目标的探测能力。发射声屏蔽技术对信道估计精度要求较高,如何在低信道估计精度下保证屏蔽效果将是下一步的工作重点。

参考文献:

[1] ZHAO Kexin, LIANG Junli, KARLSSON J, et al. Enhanced multistatic active sonar signal processing [J]. J Acoust Soc Am, 2013, 134 (1): 300-311.
[2] SHENG Xueli, LU Jia, DONG Weijia, et al. The research on the coverage area of multistatic sonar in various working modes [C]// Proceedings of Meetings on Acoustics. Provi-

dence, USA, 2014: 075005.
[3] NALUAI N K, LAUCHLE G C, GABRIELSON T B. Bi-static sonar applications of intensity processing [J]. J Acoust Soc Am, 2007, 121 (4): 1909-1915.
[4] 邹吉武. 多基地声纳关键技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012: 38-52.
ZOU Jiwu. Study on multistatic sonar key echnologies [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012: 38-52.
[5] 雷波, 杨坤德, 马培锋. 基于巴宾奈特原理的双基地声纳前向探测方法 [J]. 探测与控制学报, 2010, 32(2): 21-26.
LEI Bo, YANG Kunde, MA Peifeng. Forward detection for bistatic sonar based on the babinet's principle [J]. Journal of Detection & Control, 2010, 32(2): 21-26.
[6] SONG H C, HODGKISS W S, KUPERMAN W A, et al. Experimental demonstration of adaptive reverberation nulling using time reversal [J]. J Acoust Soc Am, 2005, 118 (3): 1381-1387.
[7] 惠俊英, 王大宇, 张光普, 等. 声屏蔽水下多址接入研究 [J]. 兵工学报, 2010, 31(6): 703-709.
HUI Junying, WANG Dayu, ZHANG Guangpu. Research on underwater multiple access based on acoustic shielding [J]. Acta Armamentarii, 2010, 31(6): 703-709.
[8] 惠俊英, 余赞, 惠娟, 等. 多途信道中声屏蔽及声聚焦 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(3): 209-306.
HUI Junying, YU Yun, HUI Juan, et al. Acoustic shielding and acoustic focusing [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2009, 30(3): 209-306.
[9] THIERRY D, MARYLINE H, PIERRE S, et al. Efficient MISO system combining time reversal and OFDM/OQAM [C]// 20th European Wireless Conference, EW 2014. Barcelona, Spain, 2014: 499-503.
[10] 鲍习中. 垂直阵时反被动定位及噪声抑制技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008: 30-31.
BAO Xizhong. Research on time reversal mirror passive localization and noise suppression technology based on vertical array [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008: 30-31.
[11] 生雪莉, 芦嘉, 凌青, 等. 多基地空时码探测信号设计及时反相关检测技术 [J]. 物理学报, 2014, 63(5): 054303.
SHENG Xueli, LU Jia, LING Qing, et al. Design of multistatic sonar space-time code detection signal and time reversal copy-correlation detection technology [J]. Acta Phys Sin, 2014, 63(5): 054303.
[12] COTTER S F, RAO B D. Sparse via matching pursuit with application to equalization [J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(3): 374-377.
[13] XU Xiaoka, ZHOU Shengli, MOROZOY A K, et al. Per-survivor processing for underwater acoustic communications with direct-sequence spread spectrum [J]. J Acoust Soc Am, 2013, 133 (5): 2764-2754.
[14] 汪德昭, 尚尔昌. 水声学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 352-355.
WANG Dezhaoh, SHANG Erchang. Underwater acoustics [M]. Beijing: Science Press, 1987: 352-353.