

- doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.19.013

78

[10] 考虑干扰信号在阵列中的传播，假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T$$

其中  $x_k(t)$  为第  $k$  个阵元的接收信号， $k=1, 2, \dots, M$ 。

### 1.1 干扰阻塞算法

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T$$

其中  $x_k(t)$  为第  $k$  个阵元的接收信号， $k=1, 2, \dots, M$ 。

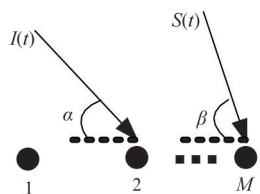


图1 均匀线列阵示意

Fig. 1 Diagram of uniform linear array

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$X(t) = AS(t) + N(t)$$

其中  $X(t)$  为  $M \times 1$  维列向量， $S(t)$  为  $P \times 1$  维列向量， $N(t)$  为  $M \times 1$  维列向量， $A$  为  $M \times P$  维矩阵。

$$A = [a_1(\alpha), a_s(\beta)]$$

$$a_1 = [1, e^{-j\omega\tau_1}, \dots, e^{-j\omega(M-1)\tau_1}]^T$$

$$a_s = [1, e^{-j\omega\tau_2}, \dots, e^{-j\omega(M-1)\tau_2}]^T$$

$$\tau_1 = \frac{d \cos \alpha}{c}, \quad \tau_2 = \frac{d \cos \beta}{c}$$

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$A = [a_1(\alpha), a_s(\beta)]$$

$$W = \begin{bmatrix} 1 & -e^{j\omega\tau_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -e^{j\omega\tau_1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -e^{j\omega\tau_1} \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -e^{j\omega\tau_1} \end{bmatrix}_{(M-1) \times M}$$

$$WA = [a'_1, a'_s]$$

$$a'_1 = [0, 0, \dots, 0]^T$$

$$a'_s = [1 - e^{-j\omega(\tau_2 - \tau_1)}, e^{-j\omega(M-2)\tau_2}, \dots, 1 - e^{-j\omega(\tau_2 - \tau_1)}]^T$$

$$S'(\omega) = S(\omega)[1 - e^{-j\omega d(\cos \beta - \cos \alpha)/c}]$$

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$S'(\omega) = S(\omega)[1 - e^{-j\omega d(\cos \beta - \cos \alpha)/c}]$$

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

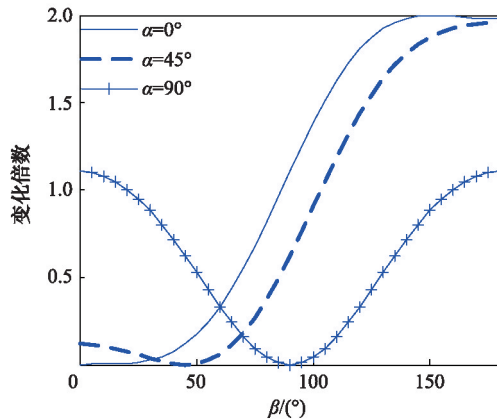
$$S'(\omega) = S(\omega)[1 - e^{-j\omega d(\cos \beta - \cos \alpha)/c}]$$


图2 目标信号相对于真实目标信号的幅度变化倍数  
Fig. 2 Amplitude variation ratio of the target signal in  $X'(t)$  to the real target signal

### 1.2 基于协方差矩阵的干扰阻塞算法

假设干扰信号在阵列中的传播方向为  $\alpha$ ，则干扰信号在阵列中的传播模型为：

$$A = [a_1(\alpha), a_s(\beta)]$$

图3 衰减区间示意

Fig. 3 Diagram of attenuation range

Н "Е" Ж "И" "И" "И"

$$f(\gamma) = \sqrt{2[1 - \cos(\frac{\omega d(\cos\beta - \cos\alpha)}{c})]} \quad (26)$$

$$f(M\gamma) = \sqrt{2[1 - \cos[(M-1)\gamma]]} \quad (27)$$

2

Matlab 中

参数设置

波束形成

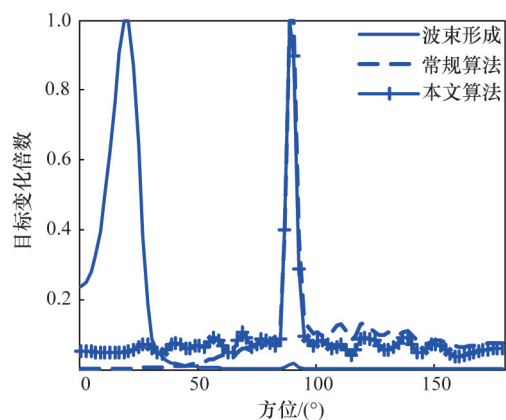
常规算法

本文算法

仿真结果

图 4 仿真结果 ( $\beta=90^\circ$ )

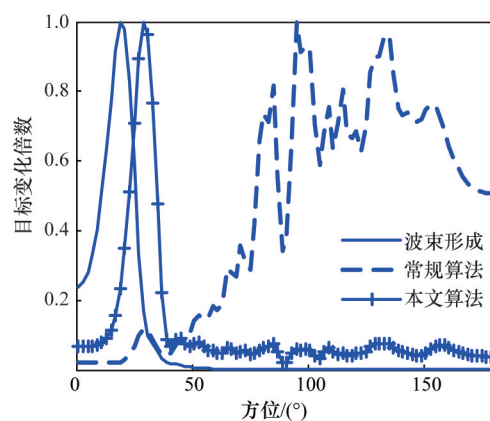
Fig. 4 Simulation result ( $\beta=90^\circ$ )

图 4 仿真结果 ( $\beta=90^\circ$ )Fig. 4 Simulation result ( $\beta=90^\circ$ )

仿真结果

图 5 仿真结果 ( $\beta=30^\circ$ )

Fig. 5 Simulation result ( $\beta=30^\circ$ )

图 5 仿真结果 ( $\beta=30^\circ$ )Fig. 5 Simulation result ( $\beta=30^\circ$ )

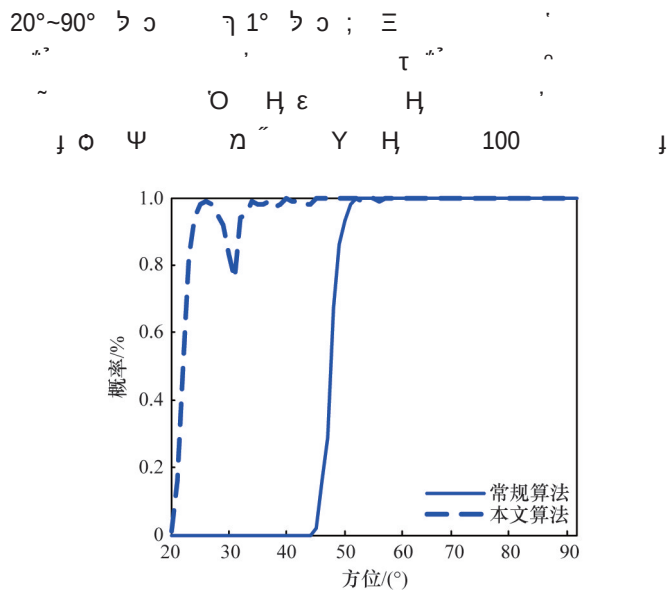


图6 成功检测概率随目标方位变化曲线

Fig. 6 Variation of successful detection probability with direction of the signal

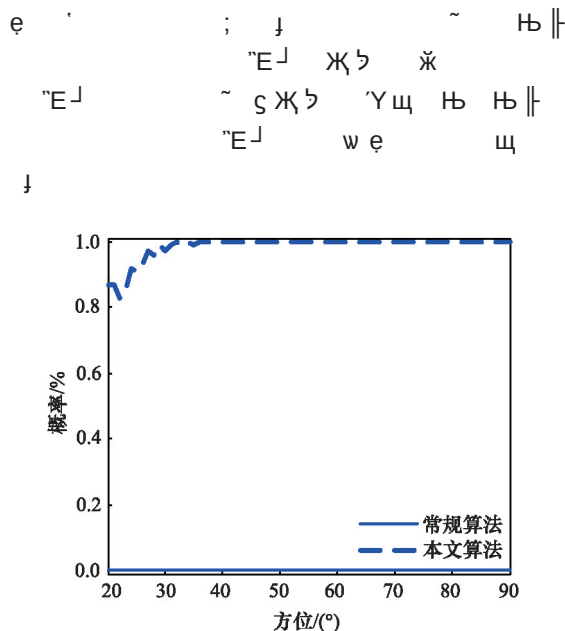


图7 目标和干扰入射方位同时变化时的成功检测概率

Fig.7 Successful detection probability changing with direction of the Interference and Signal

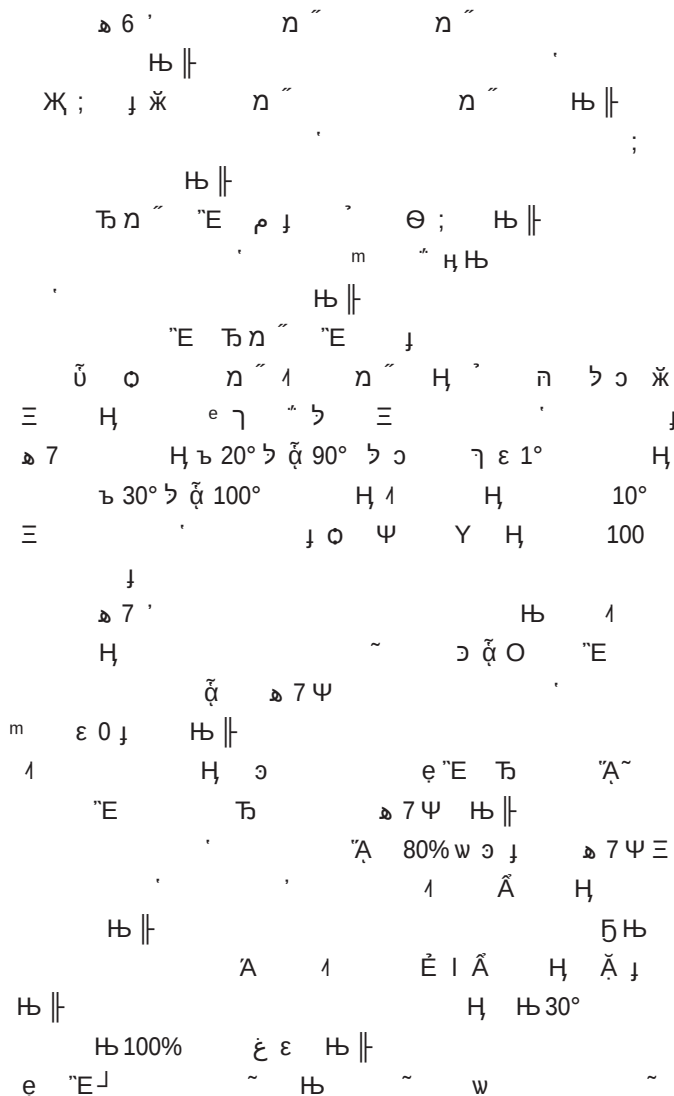


图8 成功检测概率随信噪比变化曲线

Fig. 8 Variation of successful detection probability with SNR

3

||  
 Toeplitz ~  
 n ~ H  
 i n ~ m  
 "E f n ~ w ~  
 "EO  
 "O j H ||  
 "E n ~ "E T ~  
 "O j

## 参考文献 (References)

- [1] Li Qihu. Design principle of digital sonar[M]. Hefei: Anhui Education Publisher, 2003.
- [2] æ ¼ È, , ¼ . W - "Ω [J]. , 2006, 35(5): 420-423.  
Yu Huabing, Sun Changyu, Li Qihu. Towed line array sonar spearheads submarine detection[J]. Physics, 2006, 35(5): 420-423.
- [3] , "Ω α , Ö. ¼ [M]. ä : ä 'Ö , 2000.  
Tian Tan, Liu Guozhi, Sun Dajun. The sonar technology[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2000.
- [4] Lemom S G. Towed-array history, 1917 — 2003[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2004, 29(2): 365-373.
- [5] Ñ , Ж , . α "Ω 'A n + [J]. , 2011, 31(1): 10-12.

Shao Yunsheng, Peng Huibin, Song Juncai. Current status and development trend of towed linear array sonar of foreign navy [J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(1): 10-12.

- [6] 刘成, 李际友. 水下声学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1993.  
Liu Bosheng, Lei Jiayu. Principles of underwater sound[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1993.
- [7] 石杰, 张 Xiaomin, 侯 Tieshuang, et al. Noise level evolution of low-frequency ocean ambient noise caused by ship sources[J]. Torpedo Technology, 2010, 18(2): 112-116.  
Shi Jie, Zhang Xiaomin, Hou Tieshuang, et al. Noise level evolution of low-frequency ocean ambient noise caused by ship sources[J]. Torpedo Technology, 2010, 18(2): 112-116.
- [8] Hema Singh, Jharm. Algorithm for suppression of wideband probing in adaptive array with multiple desired signals[J]. Defence Science Journal, 2011, 61(4): 325-330.
- [9] 周伟, 惠 Junying. 基于相干干扰矢量自适应抵消的逆波束形成[J]. 兵工学报, 2010, 31(9): 1188-1191.  
Zhou Wei, Hui Junying. Inverse beamforming based on coherent interference vector adaptive canceling[J]. Acta Armamentarii, 2010, 31(9): 1188-1191.
- [10] 陈辉, 苏 Haijun. 强干扰/信号抑制下的 DOA 估计[J]. 电子学报, 2006, 34(3): 530-534.  
Chen Hui, Su Haijun. A new approach estimate DOA in presence of strong jamming/signal suppression[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(3): 530-534.
- [11] 李毅, 陈 Xinhua, 孙 Changyu, et al. Real-time cancellation of directional wideband interference in sonar[J]. Applied Acoustics, 2008, 27(4): 257-263.  
Li Yi, Chen Xinhua, Sun Changyu, et al. Real-time cancellation of directional wideband interference in sonar[J]. Applied Acoustics, 2008, 27(4): 257-263.
- [12] James H. Wilson. Applications of inverse beamforming theory[J]. Journal of Acoustical Society of America, 1995, 98(6): 3250-3261.

(责任编辑 赵业玲)

### ·学术动态·



中国科学技术协会

2015年9月19日,中国科协与中国航天科技集团公司共建中国科技馆“太空探索”展厅合作协议签约仪式在中国科技馆举行。中国科协党组书记、常务副主席、书记处第一书记尚勇,中国航天科技集团公司董事长、党组书记雷凡培出席签约仪式。中国科协党组成员、中国科技馆馆长束为和中国航天科技集团公司副总经理、党组成员袁洁,分别代表双方在合作协议上签字。

根据协议,双方将发挥各自优势,深化航天科技实物展示、航天活动实时直播、天地互动科普活动等航天科普全方位的合作与交流,将中国科技馆“太空探索”展厅打造成中国航天科普教育基地,成为航天科技最新成果面向公众展示的重要窗口,实现双方资源共建共享、互助互利的新局面,促进航天科技与航天科普事业共同发展的新跨越。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/16665467.html>。