

文章编号:1000-6893(2010)03-0587-06

圆台阵列杂波模型及空时二维自适应处理

唐波, 汤俊, 彭应宁

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

Clutter Model and Space Time Adaptive Processing for Truncated Cone Array

Tang Bo, Tang Jun, Peng Yingning

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要: 针对圆台共形阵列,建立了空时二维自适应处理(STAP)的杂波模型,给出了圆台阵列杂波抑制最优权值的计算方法。在此基础之上,为了实现可应用到实际环境中的自适应处理方法,进一步讨论了将局部联合域(JDL)降维算法推广至圆台阵列中的问题。得出了圆台阵列 JDL 算法降维变换矩阵的表达形式,研究了参考波束的数目选取、波束指向等因素对降维损失的影响。理论分析以及仿真结果表明,通过合理选择通道数、波束方位角指向间隔等参数,该算法能够减少自适应波束形成的计算量,而且可以用较少的训练样本获得较好的处理性能。

关键词: 空时二维自适应处理; 圆台阵列; 杂波模型; 最优处理; 局部联合域算法

中图分类号: V243.2; TN959.1 **文献标识码:** A

Abstract: A clutter model for truncated cone array space time adaptive processing (STAP) is presented in this article. Based on this model, an optimal space time filter for the clutter suppression of a truncated cone array is derived. To enable the adaptive processing method to be applied to real environment, the generalization of the joint domain localized(JDL) algorithm to a truncated cone array is discussed and the transformed matrix of the JDL algorithm for a truncated cone array is obtained. The number of channels as well as the azimuth angle interval are analyzed, which should be selected for minimum signal to interference and noise ratio(SINR) loss of reduced dimension. Theoretical analysis and simulation results show that through proper selection of parameters, such as number of channels and azimuth angle intervals, the generalized JDL algorithm is able to obtain suboptimum performance with less training samples and much less computation load.

Key words: space time adaptive processing; truncated cone array; clutter model; optimal processing; joint domain localized algorithm

共形阵列的天线表面共形于雷达载体表面。与常规线性阵列相比,共形阵列对雷达载体的空气动力学性能影响很小,且具有易于安装、质量轻、体积小等优点。除此之外,共形阵列能够获得更大的有效孔径,并且在不转动阵列天线的情况下就能获得 360° 的覆盖范围^[1-2]。

当采用共形阵列基于空中运动平台检测地面慢速运动目标时,需要采用空时二维自适应处理(STAP)技术^[3-5]。然而,共形阵列的 STAP 面临如下几个问题:首先,共形阵波束方向图有着更高的副瓣,因此杂波展宽将更加严重;其次,共形阵列的非均匀性加剧了杂波的非平稳性,给杂波协方差矩阵的估计带来了更多的困难;此外,共形阵

列波束域的降维处理更加复杂,次最优算法实现不易。基于以上原因,针对共形阵列空时自适应处理的研究开展较少。

圆台阵列是共形阵列中较为常见的一种。通过建立圆台阵列的杂波模型,研究了圆台阵列 STAP 的最优杂波抑制性能。在此基础之上,首次将线性阵列中的局部联合域(JDL)降维算法^[6]拓展到圆台阵列中,并对圆台阵列 JDL 算法的具体实现展开了较为深入的研究。仿真结果比较了圆台阵列 JDL 算法以及最优处理的检测性能。

1 圆台阵列杂波模型

首先建立圆台阵列的空域导向矢量。图 1 给出了圆台阵列的构型示意图。假定所有的阵元都分布在圆台的圆周表面。

令圆台阵每一层的第 1 个阵元位于 x 轴正方向,按照 $x-z$ 平面内顺时针方向进行编号,则可

收稿日期:2009-01-19; 修订日期:2009-06-02

基金项目: 国家自然科学基金(60602048); 航空科学基金(20060112118); 通信系统信息控制技术国家级重点实验室基金

通讯作者: 汤俊 E-mail: tangj_ee@mail. tsinghua. edu. cn

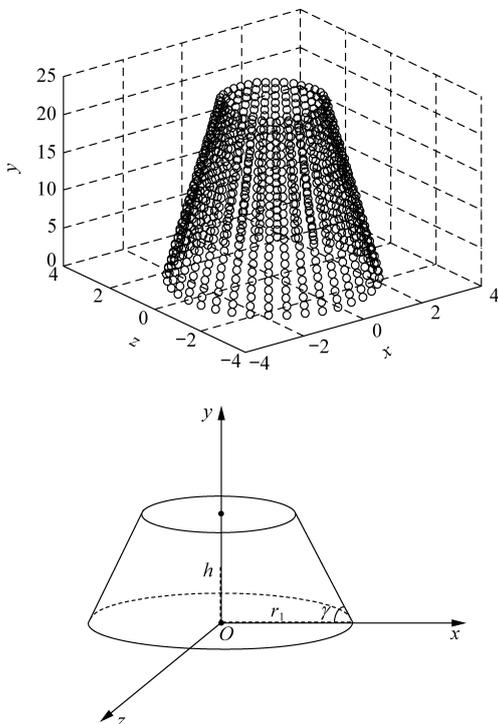


图1 圆台阵列几何构型

Fig. 1 Geometry of truncated cone array

以计算出第 m 层、第 n 个阵元的坐标为

$$\mathbf{P}(m, n) = \left[\left(r_1 - \frac{h(m-1)}{M-1} \cot \gamma \right) \cdot \cos \left((n-1) \frac{2\pi}{N} \right) \quad \frac{h(m-1)}{M-1} \right. \\ \left. \left(r_1 - \frac{h(m-1)}{M-1} \cot \gamma \right) \sin \left((n-1) \frac{2\pi}{N} \right) \right]^T \quad (1)$$

式中: $m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N; r_1$ 为圆台底面半径; h 为圆台高度; γ 为圆台斜边倾角; M 为圆台层数。圆台顶面半径为 $r_2 = r_1 - h \cot \gamma$ 。

雷达运动平台如图2所示。对于位于雷达下视方向的目标 S , 其方位角为 φ , 俯仰角为 θ 。

则目标空间导引矢量可以表示为

$$\mathbf{V}_s = [v_{11} \quad v_{12} \quad \dots \quad v_{1N} \quad \dots \quad v_{m1} \quad \dots \quad v_{MN}]^T \quad (2)$$

式中: $v_{mn} = \exp(-j\mathbf{k}^T \mathbf{P}(m, n))$, $\mathbf{k} = -\frac{2\pi}{\lambda} \cdot [\cos \theta \cos \varphi \quad \cos \theta \sin \varphi \quad \sin \theta]^T$ 为波数矢量。

如果一个相参处理间隔(CPI)中包含 K 个等间隔的脉冲, 那么圆台阵列的目标时间导引矢量可以表示为^[3]

$$\mathbf{V}_d = [\exp(j2\pi f_d T_r \cdot 0) \quad \exp(j2\pi f_d T_r \cdot 1) \quad \dots \quad \exp(j2\pi f_d T_r \cdot (K-1))]^T \quad (3)$$

式中: $f_d = \frac{2v \cos \theta \sin \varphi}{\lambda f_r}$ 为目标的归一化多普勒

频率, v 为平台速度, λ 为信号波长, $f_r = 1/T_r$ 为脉冲重复频率, T_r 为脉冲重复间隔。

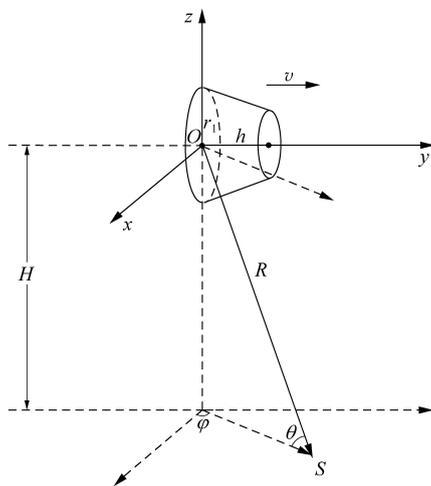


图2 雷达运动平台示意图

Fig. 2 Radar platform

由此可以得出目标 S 的空时快拍矢量为

$$\mathbf{X}_t = \alpha_t \mathbf{V}_t = \alpha_t \mathbf{V}_d \otimes \mathbf{V}_s \quad (4)$$

式中: α_t 为目标回波幅度; \mathbf{V}_t 为目标空时导引矢量。式(4)同样可以用于杂波的空时快拍矢量建模。二者不同的是, 目标的幅度为一未知的复常数, 而杂波的幅度是一个随机变量。

如果将杂波等距离环分成 N_c 块, 则接收信号中相应的杂波空时快拍矢量为^[3]

$$\mathbf{X}_c = \sum_{i=1}^{N_{\text{amb}}} \sum_{k=1}^{N_c} \alpha_{ik} \mathbf{V}_{ik} \quad (5)$$

式中: α_{ik} 为杂波块 ik 的随机幅度; \mathbf{V}_{ik} 为其空时导引矢量; N_{amb} 为模糊距离环的个数。

假设不同杂波块之间的幅度互不相关, 则杂波协方差矩阵可以表示为

$$\mathbf{R}_c = E(\mathbf{X}_c \mathbf{X}_c^H) = \sum_{i=1}^{N_{\text{amb}}} \sum_{k=1}^{N_c} \sigma^2 \xi_{ik} \mathbf{V}_{ik} \mathbf{V}_{ik}^H \quad (6)$$

式中: ξ_{ik} 为杂波块 ik 的杂噪比; σ^2 为噪声功率; $\sigma^2 \xi_{ik} = E(\alpha_{ik} \alpha_{ik}^*)$ 。

与均匀线阵的杂波建模过程相比, 可以看出圆台阵的空间频率表达形式更加复杂, 将会带来更多自适应处理上的困难。

2 圆台阵列空时自适应处理

2.1 最优处理

可以将接收信号空时快拍矢量写成

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_t + \mathbf{X}_c \quad (7)$$

式中: \mathbf{x}_t 为目标空时快拍矢量; \mathbf{x}_u 为干扰空时快拍矢量, 通常由杂波以及白噪声等组成。

空时二维自适应处理的目标是在给定目标所处的距离单元、多普勒频率及方位角的基础上, 找出合适的权值使得检测概率最大。如果干扰服从高斯分布, 那么使得检测概率最大则等价于最大化输出信干噪比(SINR)^[7], 最优权值 $\boldsymbol{\omega}$ 的选取等价于如下问题的求解:

$$\left. \begin{aligned} \max \quad & \frac{|\boldsymbol{\omega}^H \mathbf{V}_t|^2}{\boldsymbol{\omega}^H \mathbf{R}_u \boldsymbol{\omega}} \\ \text{s. t.} \quad & \boldsymbol{\omega}^H \mathbf{V}_t = 1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中: $\mathbf{R}_u = E(\mathbf{x}_u \mathbf{x}_u^H)$ 为干扰协方差矩阵。

根据经典的阵列信号处理理论, 对应于式(8)的最优权值为

$$\boldsymbol{\omega}_{\text{opt}} = \mu \mathbf{R}_u^{-1} \mathbf{V}_t \quad (9)$$

式中: μ 为一常数。

在实际处理中, 干扰协方差矩阵未知, 需要使用不同距离单元的快拍数据来估计干扰协方差矩阵, 即

$$\hat{\mathbf{R}}_u = \frac{1}{K_e} \sum_{k=1}^{K_e} \mathbf{x}_k \mathbf{x}_k^H \quad (10)$$

式中: K_e 为训练样本的个数; \mathbf{x}_k 为用于训练的空时快拍矢量。

其相对应的全自适应权值计算方法为

$$\hat{\boldsymbol{\omega}}_{\text{opt}} = \mu \hat{\mathbf{R}}_u^{-1} \mathbf{V}_t \quad (11)$$

该方法也被称为采样矩阵求逆(SMI)算法。

综上, 圆台阵列的全自适应权值的求取分为如下几个步骤: ①使用有效训练样本估计干扰协方差矩阵 \mathbf{R}_u ; ②依据式(1)~式(4)求取目标空时导引矢量; ③根据式(11)得出权值。

2.2 圆台阵列 JDL 算法

在实际处理中, 由于全自适应处理的计算量太大以及杂波协方差矩阵有效估计所需的训练样本数太多^[8], 全自适应处理通常难以实时实现, 因此有必要研究相应的降维算法。JDL 算法是一种广泛用于线性阵列空时二维自适应处理的降维算法。JDL 算法通过波束多普勒域的降维处理, 大大减小了自适应处理的权值计算量, 降低了对训练样本数的要求。

对于线性均匀阵列, 其在空域以及时域均形成了均匀采样, 因此通过二维离散傅里叶变换(DFT)就可将空时二维快拍矢量变换到波束-多

普勒域。对于圆台阵列, 其在时域为均匀采样, 但是在空域形成了非均匀采样, 二维 DFT 无法将空时二维快拍矢量变换到波束-多普勒域, 因此线性阵列 JDL 算法无法直接应用于圆台阵列。

注意到目标与杂波处于同一距离单元, 目标与各个杂波块的俯仰角是相等的, 其在空域上依赖于方位角来区分杂波。因此, 可以通过在方位上形成不同主波束指向, 在时域上仍然采用 DFT 处理来生成圆台阵列 JDL 算法的变换矩阵。下面给出变换矩阵的具体表达形式。

对于处于距离为 R 、方位角为 φ_0 、多普勒频率为 f_{d0} 的待检目标, 定义两个变换矩阵 \mathbf{F}_m 和 \mathbf{G}_m 。其中 \mathbf{F}_m 为 $K \times K_{dt}$ 维的多普勒变换矩阵, \mathbf{G}_m 为 $NM \times K_{ds}$ 维的波束变换矩阵, K_{dt} , K_{ds} 分别为降维之后的多普勒通道数以及波束通道数。

多普勒变换矩阵 \mathbf{F}_m 可以写成

$$\mathbf{F}_m = [\mathbf{f}_{m-P} \quad \cdots \quad \mathbf{f}_m \quad \cdots \quad \mathbf{f}_{m+P}] \quad (12)$$

式中: $\mathbf{f}_{m-i} = [\omega_1 \quad \omega_2 e^{j2\pi f_{di}} \quad \cdots \quad \omega_K e^{j2\pi(K-1)f_{di}}]^T$ 为多普勒中心频率 $f_{di} = f_{d0} + i/K$ ($i = -P, \dots, 0, \dots, P$) 所对应的时间导引矢量; $\{\omega_n, n = 1, 2, \dots, K\}$ 为多普勒权值; $P = \frac{K_{dt}-1}{2}$ 为主多普勒通道两侧各自的通道数。

波束变换矩阵 \mathbf{G}_m 可以写成

$$\mathbf{G}_m = [\mathbf{g}_{m-P'} \quad \cdots \quad \mathbf{g}_m \quad \cdots \quad \mathbf{g}_{m+P'}] \quad (13)$$

式中: \mathbf{g}_{m-i} ($i = -P', \dots, 0, \dots, P'$) 为指向俯仰角 $\theta_0 = \arcsin\left(\frac{H}{R}\right)$ 、方位角 $\varphi = \varphi_0 - i \times \Delta\varphi$ 的空间导引矢量, 可以由式(1)~式(4)计算得出; $P' = \frac{K_{ds}-1}{2}$ 为波束中心两侧各自的通道数; $\Delta\varphi$ 为这些波束方位角指向之间的间隔。

综上, 降维变换矩阵 \mathbf{T} 可以写成

$$\mathbf{T} = \mathbf{F}_m \otimes \mathbf{G}_m \quad (14)$$

那么采用 JDL 处理的等效权值为

$$\boldsymbol{\omega}_{\text{JDL}} = \mathbf{T}(\mathbf{T}^H \mathbf{R}_u \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^H \mathbf{V}_t \quad (15)$$

2.3 圆台阵列 JDL 算法性能分析

在空时二维自适应处理中, 输出 SINR 是衡量检测性能的准则之一, 其定义为^[3]

$$\rho = \frac{|\boldsymbol{\omega}^H \mathbf{V}_t|^2}{\boldsymbol{\omega}^H \mathbf{R}_u \boldsymbol{\omega}} \quad (16)$$

当协方差矩阵已知时,采用最优处理时的 SINR 为

$$\rho_{\text{opt}} = \mathbf{V}_t^H \mathbf{R}_u^{-1} \mathbf{V}_t \quad (17)$$

采用自适应处理时,可以得出圆台阵列 JDL 算法相应的输出 SINR 为

$$\rho_{\text{JDL}} = \frac{|\hat{\boldsymbol{\omega}}_{\text{JDL}}^H \mathbf{V}_t|^2}{\hat{\boldsymbol{\omega}}_{\text{JDL}}^H \mathbf{R}_u \hat{\boldsymbol{\omega}}_{\text{JDL}}} \quad (18)$$

式中: $\hat{\boldsymbol{\omega}}_{\text{JDL}} = \mathbf{T}(\mathbf{T}^H \hat{\mathbf{R}}_u \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^H \mathbf{V}_t$ 为采用自适应处理时相应的 JDL 权值矢量。

如果训练样本独立同分布,可以得出^[9]:

$$E\left(\frac{\rho_{\text{JDL}}}{\rho_{\text{opt}}}\right) = \frac{1}{K_{\text{JDL}} + 1} (K_{\text{JDL}} + 2 - K_{\text{dt}} K_{\text{ds}}) \cdot \frac{\mathbf{V}_t^H \mathbf{T}(\mathbf{T}^H \mathbf{R}_u \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^H \mathbf{V}_t}{\mathbf{V}_t^H \mathbf{R}_u^{-1} \mathbf{V}_t} \quad (19)$$

式中: K_{JDL} 为 JDL 算法所用的训练样本数。从式(19)可以看出,相比于最优处理,自适应 JDL 算法的 SINR 的下降一方面由于降维造成,另外一方面是由于自适应处理造成的。

而如果采用采样矩阵求逆(SMI)算法,其输出 SINR 为^[8]

$$\rho_{\text{SMI}} = \frac{|\mathbf{V}_t^H \hat{\mathbf{R}}_u^{-1} \mathbf{V}_t|^2}{\mathbf{V}_t^H \hat{\mathbf{R}}_u^{-1} \mathbf{R}_u^{-1} \hat{\mathbf{R}}_u^{-1} \mathbf{V}_t} \quad (20)$$

同理可以得出:

$$E\left(\frac{\rho_{\text{SMI}}}{\rho_{\text{opt}}}\right) = \frac{1}{K_{\text{SMI}} + 1} (K_{\text{SMI}} + 2 - NMK) \quad (21)$$

比较式(19)和式(21),注意到通常 $K_{\text{dt}} K_{\text{ds}} \ll NMK$,可以得出:如果 JDL 算法的降维损失足够小,那么即使 JDL 算法的训练样本数远远小于 SMI 算法训练样本数,仍然可能获得优于 SMI 算法的检测性能。

此外,圆台阵列 JDL 算法的计算量也要远远小于 SMI 算法的计算量。对于 SMI 算法,其计算量为 $O((NMK)^3)$;而 JDL 算法的计算量为 $O(K(K_{\text{ds}} K_{\text{dt}})^3)$ 。如果 $K_{\text{ds}} K_{\text{dt}} \ll NMK$,很明显, JDL 算法的计算量要小于全自适应处理的计算量。

3 仿真结果及性能比较

本节给出圆台阵列空时二维自适应处理权值计算采用全自适应处理与 JDL 算法的性能比较。仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数	数值
平台速度/(m·s ⁻¹)	100
波长/m	0.07
脉冲重复频率/Hz	12 000
主波束方位角/(°)	0
主波束俯仰角/(°)	30
杂噪比/dB	30
脉冲数	8
圆台大圆半径/m	0.09
圆台高度/m	0.08
圆台层数	6
圆环阵元数	16
圆台斜边倾角/(°)	45

如果将上述 JDL 算法用于圆台阵,要想获得接近于最优处理的性能,需要尽量减少降维处理带来的损失。从式(14)和式(19)可以看出,降维损失取决于多普勒通道数、波束通道数以及波束通道方位角指向间隔这 3 个参数,因此必须选择合适的参数来减少降维损失。

对于 JDL 算法,在尽量少减小检测性能损失的情况下,需要选择尽可能少的通道数。由于圆台阵回波信号在时间域仍然是均匀采样,因此多普勒通道数的选择类似于线性阵列,一般选择 3~5 个。本次仿真选择 3 个多普勒通道。

由于圆台阵回波信号在空域为非均匀采样,如果波束通道数太少,则会严重影响系统的检测性能。图 3 给出了分别采用 5 通道、7 通道和 9 通道,各个波束方位角指向间隔为 30°时的输出 SINR 损失曲线,可以看出采用 5 通道与采用 7

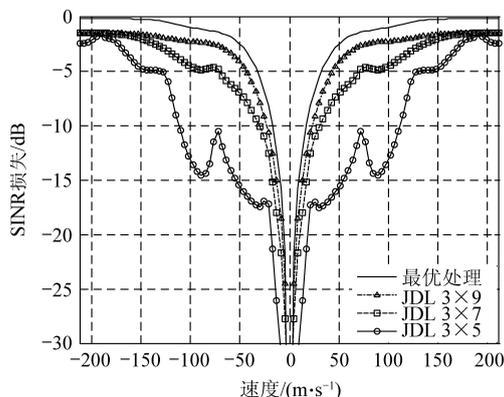


图 3 不同波束通道的输出 SINR 损失比较

Fig. 3 Comparison of SINR loss with different number of channels

通道和9通道相比,检测性能下降较多。本次仿真选择采用9个波束通道。

圆台阵 JDL 算法参数选择的另一个问题是各个波束方位向指向间隔的选取。如果波束间隔过小,则波束变换矩阵 G_m 列矢量之间的正交性太差,极易造成矩阵病态,会给权值的求取带来一定的问题。图4给出了方位向指向间隔分别为 5° 、 15° 以及 30° 时的输出 SINR 损失曲线。可以看出方位向指向间隔为 30° 时检测性能更优。本次仿真波束方位向指向间隔为 30° 。

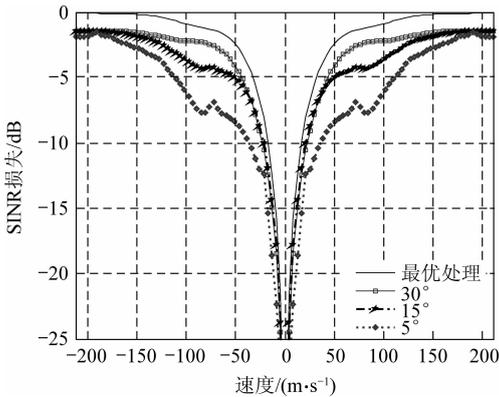


图4 不同方位向指向间隔的输出 SINR 损失比较

Fig. 4 Comparison of SINR loss with different azimuth angle intervals

当杂波协方差矩阵已知时,图5给出了圆台阵 JDL 算法与最优处理的输出 SINR 损失比较,从图中可以看出,此时的 JDL 算法的检测性能要略差于最优处理的检测性能,这是由降维处理造成的,降维损失约为 1.4 dB。然而,在实际处理当中,杂波协方差矩阵需要通过不同距离单元的样本来估计。图6给出了当训练样本各向同性时,SMI 算法采用 1 536 个样本与 JDL 算法采用 120 个样本的输出 SINR 损失曲线。从图中可以

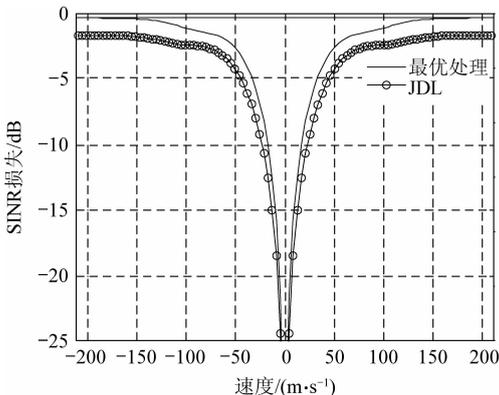


图5 最优处理与 JDL 算法的输出 SINR 损失比较

Fig. 5 Comparison of SINR loss for optimum processing and JDL

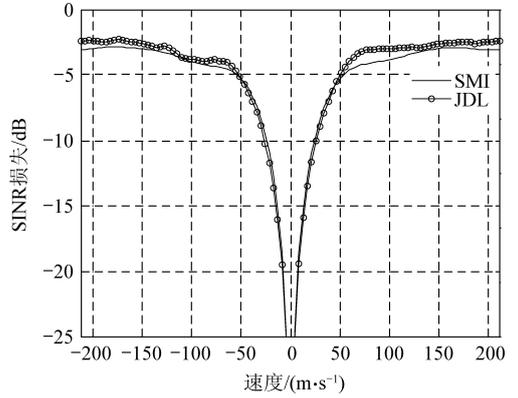


图6 SMI 算法与 JDL 算法的输出 SINR 损失比较

Fig. 6 Comparison of SINR loss for SMI and JDL

看出,JDL 算法在训练样本数远远小于 SMI 算法训练样本数的情况下,仍然能够获得优于 SMI 算法的检测性能。这可以从式(19)和式(21)得出。根据式(19),自适应 JDL 算法相比于最优处理大致有 2.5 dB 的损失,而根据式(21),SMI 算法大致会带来 3.0 dB 的损失。

4 结论

通过建立圆台共形阵列杂波模型,研究了圆台阵列空时二维自适应处理的最优杂波抑制性能,给出了圆台阵列最优权值的计算方法。然而最优权值的计算需要巨大的运算量以及足够的训练样本数。为了使圆台阵列空时二维自适应处理能够应用于实际系统中,文中将用于常规线性阵列的 JDL 算法拓展到圆台阵列中。通过选择合适的多普勒通道数、波束通道数以及方位向指向间隔,拓展后的 JDL 算法不仅具有较小的运算量,而且能够以较少的训练样本获得较优的处理性能。

参考文献

- [1] Hersey R K. Adaptive detection and estimation using a conformal array antenna [D]. Georgia: Georgia Institute of Technology, 2004.
- [2] Hersey R K, Melvin W L. Adaptive conformal array radar [C]//IEEE 2004 Radar Conference. 2004: 568-572.
- [3] Ward J. Space-time adaptive processing for airborne radar [R]. Technical Report 1015, MIT Lincoln Laboratory, 1995.
- [4] Klemm R. Principles of space-time adaptive processing [M]. London: The Institution of Engineering and Technology, 2002.
- [5] Guerci J R. Space-time adaptive processing for radar [M]. Norwood, MA: Artech House, 2003.
- [6] Wang H, Cai L J. On adaptive spatial-temporal processing

- for airborne surveillance radar systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1994, 30(3): 660-670.
- [7] Brennan L E, Reed L S. Theory of adaptive radar [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1973, 9(2): 237-252.
- [8] Reed S, Mallett J D, Brennan L E. Rapid convergence rate in adaptive arrays [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1974, 10(6): 853-863.
- [9] Peckham C D, Haimovich A M, Ayoub T F, et al. Reduced-rank STAP performance analysis [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2000, 36(2): 664-676.

作者简介:

唐波(1985—) 男, 博士研究生。主要研究方向: 自适应信号处理。

Tel: 010-62781375

E-mail: tangbo06@gmail.com

汤俊(1973—) 男, 博士, 副教授, 博士生导师。主要研究方向: 雷达信号处理。

E-mail: tangj_ee@mail.tsinghua.edu.cn

彭应宁(1939—) 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 雷达信号处理。

E-mail: pengyn@mail.tsinghua.edu.cn

(编辑: 张利平)



尖兵之翼——第三届中国无人机大会暨展览会征文通知

为促进我国无人机技术交流, 推动我国无人机产业发展, 继成功举办 2006 年和 2008 年两届“尖兵之翼——中国无人机大会”之后, 中国航空学会将于 2010 年 6 月与有关单位在北京联合举办“尖兵之翼——第三届中国无人机大会暨展览会”。

一、征文范围及内容

我国无人机行业的产业政策及管理方式探讨; 国内外无人机的发展现状和趋势; 国内外无人机研发中的新技术和新方法(无人机系统总体技术、平台总体综合设计技术、动力装置技术、飞行控制与管理、导航技术、测控与数据链技术、武器化技术; 等等); 无人机的飞行控制指挥及空域管理; 微型无人机技术; 无人机未来面临的主要任务、关键技术及发展建议; 民用无人机相关技术及应用前景。

二、投稿要求

1. 内容新颖、主题明确、能够反映作者近期的研究进展或成果, 资料分析类论文必须有作者的独立见解; 2. 未在公开出版物或全国性学术会议上发表过; 文责自负; 3. 论文由题目、作者及工作单位、中文摘要(300 字以内)、关键词(3-6 个)、正文、参考文献、作者简介(姓名、性别、出生年月、专业、单位、通讯地址、邮编、电话、电子邮箱, 150 字以内)组成, 限 4 000 字(含图表); 4. 投稿需附单位保密审查证明, 证明本篇投稿不涉及本单位、相关单位以及国家的秘密; 5. 投稿时需提交纸质论文一份、电子文档(光盘或电子邮件均可)、作者全面联系方式、希望被推荐刊登的刊物顺序, 并注明“无人机大会征文”; 6. 应征论文无论录用与否均不退稿, 请作者自留底稿, 敬请谅解。

三、征文截止日期: 2010 年 4 月 20 日。

四、大会预报名

因宾馆食宿条件有限, 本次大会将限制会议规模并采用预报名制。请有意参会者, 无论是否投稿, 均请填写“参会意向报名表”, 并于 2010 年 4 月 30 日前发传真或电子邮件至会务承办单位——北京高博特广告有限公司。

五、联系方式

1. 北京高博特广告有限公司(负责收集征文和预报名表、展览招商):

通讯地址: 北京市海淀区西四环北路 15 号依斯特大厦 709(100195)

联系人及电话: 王小霞 010-88464972/73 88587506/07-811 13021111064

陈 运 010-88464972/73 88587506/07-807 13488876342

传真: 010-88587416 E-mail: uav2010@yahoo.cn

2. 中国航空学会(负责解释大会、飞行表演等相关事宜):

赵霜红 010-84924396 13693135311 zhaosh@csaa.org.cn

有关大会情况请随时关注中国航空学会网站(www.csaa.org.cn)或高博特军工网(www.gobetter.com.cn)