

# 任意平面阵列的干扰抑制

李 平, 史小卫

(西安电子科技大学电子工程学院 223 信箱, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文提出一种任意平面阵列抑制干扰的方法. 对任意平面阵列的接收信号进行多次正交变换, 然后对变换后信号的自相关矩阵求平均值, 所得矩阵应用最大信号与干扰加噪声功率比准则求得抑制干扰的权值. 计算机模拟实验表明, 该方法能有效抑制干扰且对干扰信号之间的相关特性没有要求.

关键词: 任意平面阵列; 正交变换; 干扰抑制

中图分类号: TN973. 3+ 1 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2003) 12A-2145-02

## Interference Suppression for a Random Planar Array

LI Ping, SHI Xiaowei

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: This paper proposes a method of interference suppression for a random planar array. Orthogonal transform are performed certain times on the signals. Then an average covariance matrix can result from all the covariance matrix of the transformed signals and from which a weight can be determined by a rule of Max SNR. The validity of the method is illuminated by computer simulation. And the method can constrain the interference efficiently and has no limits about the correlations among the interference signals.

Key words: random planar array; orthogonal transform; interference suppression

### 1 引言

在一些特定的环境里对天线阵列的形状及尺寸<sup>[1,2]</sup>都会有特殊的要求, 例如在军舰上. 并且其电磁信号环境复杂存在很多干扰, 当干扰信号相互相干甚至与期望信号相干时, 系统能否正常工作能否有效的抑制干扰是我们关心的问题. 本文提出一种可以抑制任意平面阵列相干干扰的方法, 其中的平均处理不必如空间平滑技术<sup>[3-5]</sup>那样损失阵列孔径. 同时此方法也能对非相干干扰信号或者相干干扰和非相干干扰的混合干扰信号都能很好的抑制.

### 2 理论分析<sup>[6-8]</sup>

对  $N$  元任意分布的平面阵列, 假设有一个已知入射方向为  $\theta_0$  的期望信号  $s_0(t)$  和  $D-1$  个已知入射方向为  $\theta_i (i=1, 2, \dots, D-1)$  的干扰信号  $s_k(t) (k=1, 2, \dots, D-1)$  入射到阵列上, 则阵列的输出为:

$$X(t) = s_0(t)a(\theta_0) + AS(t) + N(t) \quad (1)$$

式中  $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ ,  
 $S(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_{D-1}(t)]^T$ ,  
 $N(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T$ ,  
 $A = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_{D-1})]$ ,

式中  $a(\theta_l) = [a_1(\theta_l), a_2(\theta_l), \dots, a_N(\theta_l)]^T, l=0, 1, \dots, D-1$  是对于第  $l$  个信号的阵列流形,  $n_n(t) (n=1, 2, \dots, N)$  为第  $n$

个阵元及相应通道中的均值为零方差为  $\sigma^2$  的复高斯白噪声, 且与期望信号和干扰信号不相关,  $a_m(\theta_l), m=1, 2, \dots, N$  是第  $m$  个阵元对第  $l$  个信号的空间响应, 即

$$a_m(\theta_l) = \exp\{j \frac{2\pi r_m}{\lambda} \cos(\theta_l)\} \quad (2)$$

式中  $r_m$  是阵列单元到阵列原点的距离. 则阵列输出信号的协方差矩阵为

$$R = E[X(t)X^H(t)] = p_0^2 a(\theta_0)a^H(\theta_0) + R_u \quad (3)$$

式中, 上标  $H$  表示向量的共轭转置;  $p_0^2$  为期望信号功率, 且

$$R_u = APA^H + \sigma^2 I = R_0 + \sigma^2 I \quad (4)$$

式中  $I$  是  $N \times N$  的单位矩阵,  $P = E[s(t)s^H(t)]$ , 其中  $E[\cdot]$  为数学期望.

如果有  $q_1 (2 \leq q_1 \leq D-1)$  个干扰信号的来波方向相同, 那么阵列流形  $A$  就有  $q_1$  列线性相关, 则  $R_u$  的秩为  $D-1-q_1$ ; 如果有  $q_2 (2 \leq q_2 \leq D-1)$  个干扰信号相互相干, 那么  $R_u$  就有对应的  $q_2$  行线性相关, 则  $R_u$  的秩降为  $D-1-q_2$ ; 如果两种情况同时存在, 那么  $R_u$  的秩为

$$Q = \min(D-1-q_1, D-1-q_2).$$

在来波方向不同, 信号间不相关时, 由最大信号与干扰加噪声功率比准则可得自适应天线阵列的稳态加权矢量<sup>[9]</sup>为

$$W = \alpha R^{-1} a^*(\theta_0) = \mu R_u^{-1} a^*(\theta_0) \quad (5)$$

式中  $\alpha$  和  $\mu$  均为常量. 定义自适应天线阵列的方向图为

$$p(\theta) = |W^T a(\theta)| \quad (6)$$

则可知方向图  $p(\theta)$  在干扰信号方向有

$$|W^T a(\theta_k)| = 0 \quad (7)$$

即在干扰信号方向上产生“零点”，从而抑制干扰信号。

当存在相干的干扰信号，甚至一些信号从相同的方向入射，则此时的  $R_u$  的秩为  $Q$ ，不再是满秩矩阵，则不能使用式(5)的权矢量有效的抑制干扰。那么现在对干扰信号做如下正交变换：假设有  $q = \max(q_1, q_2)$  个不同的正交矩阵(非单位阵)  $U_1, U_2, \dots, U_q$ ，分别对干扰信号作变换： $s_m(t) = U_m s(t)$ ,  $m = 1, 2, \dots, q$ 。得到变换后的干扰信号为  $s_m(t)$ ，则

$$P_m = E[s_m(t) s_m^H(t)] = U_m P U_m^H \quad (8)$$

对  $P_m$  求平均值

$$\bar{P} = \frac{1}{q} \sum_{m=1}^q P_m = \frac{1}{q} \sum_{m=1}^q U_m P (U_m)^H \quad (9)$$

用  $\bar{P}$  代替式(4)中的  $P$ ，则此时按照同样的准则可以有效的抑制干扰信号功率。一种简单的正交矩阵的选取如下：取正交矩阵  $U = \text{diag}\{e^{j\Omega_1}, e^{j\Omega_2}, \dots, e^{j\Omega_q}\}$  且  $\Omega_i \neq \Omega_j (1 \leq i, j \leq q)$ 。则定义：

$$U_m = U^{m-1}, \quad m = 1, 2, \dots, q \quad (10)$$

从最大信号与干扰加噪声功率比准则可以看出，在多个干扰信号来波方向相同的情况下，多个干扰信号在此方向形成的零陷深度比单独一个干扰信号时形成的零陷深度大很多。当若干个干扰信号相互相干时，阵列不能有效的抑制相干干扰信号，只能抑制其余的不相干的干扰信号。

对信号进行多次不同的正交变换，变换次数要大于等于所有的相干信号的总数。通过正交变换改变信号向量的方向，再通过求平均得到满秩的协方差矩阵。这样保留了原始阵列信号之间的相对关系和信号的完整性，变换不改变信号的总功率，而 MSIR 准则是以功率约束为基础的，所以对信号的变换不会破坏权值的有效性，从而可以应用此准则可求得权值来抑制干扰。

### 3 计算机模拟结果

为了验证上述变换处理的有效性，下面采用 7 元均匀直线阵列进行实验。模拟中采用的参数如下：阵列信号的采样数为 256，噪声的  $\sigma^2$  为 1，干扰信号的信噪比均为 30dB；期望信号来自 90 度方向，其信噪比为 -20dB。模拟结果如图 1、2 所示。阵列单元的位置如下：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.8 & 0.4 & 0.7 & 3.8 & -0.5 & -1.6 \\ 0.1 & -0.5 & 0.4 & 1.9 & 1.6 & -1.5 & 2.5 \end{bmatrix}$$

从计算结果可以看出，采用虚拟平移的变换处理以后与处理之前相比，均匀直线阵列可以有效的抑制相干干扰，在干扰方向有足够的零陷深度，而且信号来波方向之间的角度差别没有严格的限制(见图 1)。另外，此方法能对相干干扰和非相干干扰的混合信号一样具有有效的抑制作用(见图 2)。

### 4 结束语

本文应用正交变换对应用任意平面阵列的自适应系统提

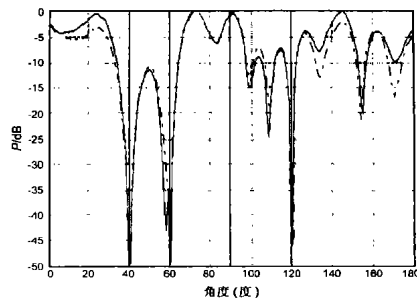


图1 相干干扰信号分别来自 25、60、85、110、145 度(虚线: 未经平移变换)

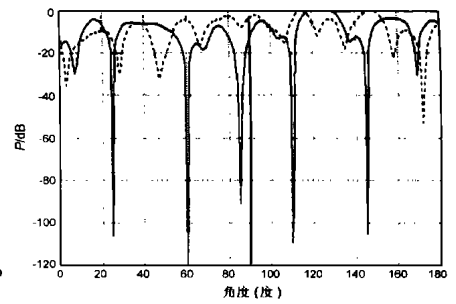


图2 干扰信号分别来自 40、60、120 度(实线: 相干干扰信号; 虚线: 相干和非相干混合干扰信号)

出一种抑制干扰的方法，此方法对干扰信号本身的相干性质没有要求。同时该方法具有不损失阵列孔径的优点，从而有效的利用天线阵单元，并且对阵列的形式没有限制，有利于在自适应阵列系统中的应用和工程的实现。

### 参考文献:

- [1] 刁鸣, 熊良芳, 李一兵. 舰载任意形状超分辨率向天线阵列技术的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(11).
- [2] 孙庆伟, 权太范, 王军, 宋晋敏, 王建斌, 陈瑞源. 复杂干扰环境下的分布式多传感器检测[J]. 电子学报, 2001, 29(3): 346-349.
- [3] San T J, et al. On spatial smoothing for direction-of-arrival estimation of coherent signals[J]. IEEE Trans ASSP, 1985, ASSP-33(4): 806-811.
- [4] Takao K, Kikuma N. An adaptive array utilizing a spatial averaging technique for multipath environments[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1987, AP-35(12): 1389-1396.
- [5] Yeh C C, et al. On the coherent interference suppression using a spatially smoothing adaptive array[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1989, AP-37(7): 851-857.
- [6] Brandwood D H, Baker J D. Stabilisation of adaptive array patterns using signal space projection[A]. Antennas and Propagation 1989, ICAP 89[C]. Conf Publ, 1989, 1(301): 289-294.
- [7] 杨超, 李利. 自适应圆阵抑制相关干扰技术[J]. 中国空间科学技术, 1995, 8(4): 16-21.
- [8] 杨超. 自适应圆阵中的干扰抑制和互耦补偿[J]. 中国空间科学技术, 1998, 8(4): 31-35.

### 作者简介:



李平男, 1977 年生于江苏省宜兴市, 西安电子科技大学在读博士生, 专业方向: 无线物理, 智能天线系统以及天线阵列。

史小卫男, 1963 年生于广东省汕头, 多年来从事电磁场与微波技术及无线物理专业教学与科研工作, 现任西安电子科技大学教授、博士生导师, 目前主要研究方向为: 智能天线、射频识别及电磁兼容。