

文章编号:1001-893X(2010)07-0091-06

## 圆形阵列天线方向图的分布函数优化方法<sup>\*</sup>

赵万春<sup>1</sup>, 师君<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军驻 157 厂军事代表室, 四川 彭州 611930; 2. 电子科技大学 电子工程学院, 成都 610054)

**摘要:**以离散有限长复指数和的计算为基础, 讨论了二维阵列的方向图问题。通过引入分布函数的概念, 可知离散有限长复指数和为其分布函数离散傅里叶变换在 1 点的值。基于此结论, 分析了二维阵列天线阵元分布于天线方向图之间的关系: 二维阵列任意方向的方向图为在其该方向分布函数的离散傅里叶变换, 该分布函数可通过统计其投影在该方向的临近区域处阵元数目获得。然后, 通过对混合圆形阵列天线方向图的分析, 验证了该关系的正确性, 并说明了上述关系在分析阵列方向图的应用。在此基础上, 进一步分析了阵元权重系数对方向的影响, 发现该方法与通过改变阵列天线阵元分布的方法等效。最后, 提出了基于分布函数的圆形阵列方向图优化方法, 并通过仿真实验验证了该方法的可行性。该方法可通过改变圆形阵列阵元沿径向的权重系数使得其对应的任意方向的方向图与期望的窗函数近似。

**关键词:** 圆形阵列; 天线方向图; 分布函数; 权系数优化

**中图分类号:** TN95    **文献标识码:** A    **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.07.019

## Research of Density Function Optimization Method for Circular Array Patterns

ZHAO Wan-chun<sup>1</sup>, SHI Jun<sup>2</sup>

(1. PLA Military Delegation Office for 157 Factory, Pengzhou 611930, China; 2. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** This paper discusses the radiation pattern of 2-D circular array according to the calculation of exponential sum of finite discrete-time function. By introducing the density function, it is demonstrated that the value of an exponential sum of finite discrete-time function is equal to that of the discrete Fourier transform of its density function at point 1. Based on this conclusion, an approach to analyse the radiation pattern of 2-D array using density function is presented, and it is shown that the directional radiation pattern of a 2-D array is the Fourier transform of its density function in the corresponding direction. Then the radiation patterns of hybrid 2-D circular arrays are discussed to demonstrate the validity and application of this approach. Then, the effect of positive weight coefficient on the radiation pattern is discussed, and it is found that the effect of positive weight coefficient is equivalence to the distribution of elements. Finally, a weigh optimization method for circular array is presented, which ensures the optimized PSF similar to the Fourier transform of the desired window function approximately by adjusting the weight coefficients.

**Key words:** circular array; antenna pattern; density function; weight coefficient optimization

## 1 引言

阵列理论广泛应用于雷达、声纳及通信等领域,

天线方向图<sup>[1-3]</sup>描述的阵列天线的分辨率特征是阵列天线设计的重要指标之一。数学上, 天线方向图的分析可看作带参数的振荡积分的求解问题。但

\* 收稿日期: 2010-01-26; 修回日期: 2010-04-19

是,由于振荡积分相位函数具有多样性,可能为连续函数、周期函数或随机函数,该振荡积分的求解较为困难。目前,方向图的优化主要采用基于统计模型的优化方法,如模拟退火算法(SA)<sup>[4~8]</sup>及遗传算法(GA)<sup>[9~13]</sup>等。虽然上述方法可以对天线旁瓣进行优化设计,但无法揭示天线阵元布局与方向图之间的直接联系。另外,对于高维阵列,当天线阵元数目较多时,上述方法运算量较大。

在实际工程中,阵列天线阵元的数目有限,振荡积分的求解问题可近似为离散有限长复指数和的计算。通过引入分布函数的概念,本文介绍了离散有限长复指数和的计算方法,并将该方法应用于二维阵列天线方向图的分析,揭示了二维阵列天线阵元布局与其方向图的对应关系。然后,利用该关系分析了满阵圆形阵列、稀疏圆形阵列及混合圆形阵列的布局与天线方向图的关系,验证了该分析方法的正确性。

在上述研究的基础上,本文进一步分析了加权对天线方向图的影响,并在此基础上提出了一种基于分布函数的圆形阵列方向图优化方法。该方法通过对不同半径阵元权重的设计使得其对应的天线方向图达到与期望的窗函数相近的效果。

## 2 离散有限长复指数和的计算

阵列天线方向图优化问题数学上可以看作是振荡积分求解问题,由于该问题分析较为复杂,目前主要采用驻定相位原理进行近似求解。但是对于离散有限长信号,其指数和的计算可以采用本节给出的方法进行计算。

假设已知离散有限长信号  $f(n) = (0, 1/4, 2/4, 0, 1/4, 1/4)$ , 需求解该信号的复指数和,其公式可表示为

$$\sum_n \exp(j \cdot 2\pi \cdot f(n)) = e^{j \cdot 2\pi \cdot 0} + e^{j \cdot 2\pi \cdot 1/4} + e^{j \cdot 2\pi \cdot 2/4} + \\ e^{j \cdot 2\pi \cdot 0} + e^{j \cdot 2\pi \cdot 1/4} + e^{j \cdot 2\pi \cdot 1/4} \quad (1)$$

根据加法的交换律和结合律,式(1)可改写为

$$\sum_n \exp(j \cdot 2\pi \cdot f(n)) = 2 \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot 0} + 3 \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot 1/4} + \\ 1 \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot 2/4} + 0 \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot 3/4} \quad (2)$$

式中,系数 2,3,1 和 0 表示各复指数项出现的频率(概率意义上)。因此,通过引入密度(分布)函数  $D(i) = \{2,3,1,0\}$  的概念,可得到:

• 92 •

$$\sum_n \exp(j \cdot 2\pi \cdot f(n)) = \sum_{i=0}^3 D(i) e^{j \cdot 2\pi \cdot i/4} \quad (3)$$

明显地,公式(3)满足离散傅里叶变换的定义式。定义  $D(i)$  的傅里叶变换为  $\hat{D}(k)$ , 可得到:

$$\sum_n \exp(j \cdot 2\pi \cdot f(n)) = \hat{D}(1) \quad (4)$$

类似地,带有参数的离散有限长复指数和可表示为

$$\sum_n \exp(j \cdot 2\pi \cdot k \cdot f(n)) = \sum_{i=0}^3 D(i) e^{j \cdot 2\pi \cdot k \cdot i/4} = \hat{D}(k) \quad (5)$$

根据上面的例子可看出,带参数的离散有限长复指数和可通过对其分布函数进行傅里叶变换得到,该性质为本文提出的圆形阵列方向图优化方法的技术。实际上,采用 Lebesgue 测度等方法,该性质可很容易地扩展到连续函数的振荡积分的计算。由于离散有限长复指数和的性质已经满足阵列优化问题的需要,连续函数的振荡积分将在其它的研究中详细论述。

## 3 阵列天线方向图

天线方向图是阵列天线的重要指标,反映了天线辐射电磁波在空间中的分布情况。阵列天线设计的一个关键问题为通过对阵型、阵元布局及权重系数的优化以获得期望的天线方向图。本节将利用上节介绍的计算方法推导二维阵列天线的方向图,并分析几种典型圆形阵列的方向图。

### 3.1 信号模型

二维阵列天线的几何关系如图 1 所示。

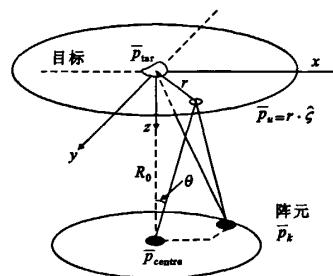


图 1 阵列天线几何结构

Fig. 1 Geometry of array antenna

不失一般性,可将二维阵列天线描述为一组二维坐标构成的集合,记作:  $\hat{\Omega}_{SA} = \{\hat{p}_k : \hat{p}_k = (\hat{x}_k, \hat{y}_k)\}$ , 其中,  $k$  表示阵元节点的序号,  $(\hat{x}_k, \hat{y}_k)$  表示阵元  $k$  相对阵元中心的位置。则  $\hat{\Omega}_{SA}$  精确地描述了任意二

维阵列天线的形状。

假设阵元中心相对目标中心的位置为

$$\bar{p}_{\text{centre}} = (x_0, y_0, z_0) \quad (6)$$

式中,  $x_0$ 、 $y_0$  和  $z_0$  表示该位置在  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴的分量。则二维阵列相对目标中心的位置可表示为

$$\Omega_{SA} = \{\bar{p}_k\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{p}_k &\triangleq (x_k, y_k, z_k) = \hat{p}_k + \bar{p}_{\text{centre}} = \\ &= (x_0 + \hat{x}_k, y_0 + \hat{y}_k, z_0) \end{aligned} \quad (8)$$

式中,  $\Omega_{SA}$  描述了二维阵列天线相对观测场景的位置。

假设目标点相对目标中心的相对位置为  $\bar{p}_{\text{tar}}$ , 且雷达向目标区域发射单频电磁波, 则第  $k$  个阵元接收到的回波信号为

$$s(\bar{p}_k, t) = \exp(-j \cdot 2\pi \cdot f_0 \cdot (t - R_k^{\text{tar}}/c)) \quad (9)$$

$$R_k^{\text{tar}} = \|\bar{p}_k - \bar{p}_{\text{tar}}\|_2 \quad (10)$$

式中,  $f_0$  为载波频率,  $R_k^{\text{tar}}$  为阵元到目标的距离,  $c$  表示光速,  $\|\cdot\|_2$  表示向量 2 范数。

通过接收系统去载波处理, 则阵列天线的接收回波可表示为

$$s(\bar{p}_k; \bar{p}_{\text{tar}}) = \exp(j \cdot 2\pi \cdot R_k^{\text{tar}}/\lambda) \bar{p}_k \in \Omega_{SA} \quad (11)$$

式中,  $\lambda$  为载波波长。

### 3.2 方向图

利用上节建立的信号模型, 二维阵列天线的方向图可表示为

$$\chi(\bar{p}_u) \triangleq \frac{1}{\Psi} \sum_{n_{SA}} s(\bar{p}_k; \bar{O}) \cdot s^*(\bar{p}_k; \bar{p}_u) \quad (12)$$

$$\Psi \triangleq \sum_{n_{SA}} |s(\bar{p}_k; \bar{O})|^2 \quad (13)$$

式中,  $\bar{O}$  表示参考点的位置, 上标 \* 表示复共轭算子,  $\Psi$  表示信号  $s(\bar{p}_k; \bar{O})$  的能量,  $\bar{p}_u$  表示图像空间中的坐标。

由于  $\chi(\bar{p}_u)$  为多元函数, 为了便于分析, 定义  $\xi$  方向的方向图为

$$\chi_\xi(\theta) \triangleq \frac{1}{\Psi} \sum_{n_{SA}} s(\bar{p}_k; \theta \cdot \xi) \cdot s^*(\bar{p}_k; \bar{O}) \quad (14)$$

$$\xi = (\xi_x, \xi_y, 0) \quad (15)$$

$$\theta \triangleq r/R_0 \quad (16)$$

式中,  $\xi$  表示图像空间中任意方向的单位矢量, 如图 1 所示;  $r$  表示像素  $\bar{p}_u$  距离图像空间中心位置处的距离;  $R_0$  表示二维阵列天线距离图像空间中心的距离;  $\theta$  为  $r$  和  $R_0$  的比, 当  $r \ll R_0$  时, 其近似为像素  $\bar{p}_u$  对应的波束角。

将式(11)代入式(14)中, 并将  $\Delta R_k^{\cdot \xi}$  用泰勒级数展开, 可得到  $\xi$  方向的方向图为

$$\chi_\xi(r) = \frac{1}{\Psi} \cdot \sum_{n_{SA}} \exp[j \cdot 2\pi \cdot \theta \cdot (\bar{p}_k \cdot \xi^T)/\lambda] \quad (17)$$

根据式(8), 有:

$$\bar{p}_k \cdot \xi^T = \bar{p}_{\text{centre}} \cdot \xi^T + \hat{p}_k \cdot \xi^T \quad (18)$$

则式(17)可写为

$$\chi_\xi(\theta) = B(\theta) \cdot \sum_{n_{SA}} \exp[j \cdot 2\pi \cdot \theta \cdot (\hat{p}_k \cdot \xi^T)/\lambda] \quad (19)$$

$$B(\theta) \triangleq \frac{1}{\Psi} \cdot \exp[j \cdot 2\pi \cdot \theta \cdot (\bar{p}_{\text{centre}} \cdot \xi^T)/\lambda] \quad (20)$$

将  $(\hat{p}_k \cdot \xi^T)/\lambda$  看作式(5)中的相位函数, 利用式(5)可得到:

$$\begin{aligned} \chi_\xi(\theta) &= B(r) \cdot \sum_i e^{j \cdot 2\pi \cdot \theta \cdot i D_\xi(i)} = \\ &= B(\theta) \cdot \hat{D}_\xi(-\theta) \end{aligned} \quad (21)$$

由于  $|B(\theta)| = \frac{1}{\Psi}$ , 则有:

$$|\chi_\xi(\theta)| = \frac{1}{\Psi} \cdot |\hat{D}_\xi(-\theta)| \quad (22)$$

式(22)的物理意义如图 2 所示。从图中可以看出, 对于任意二维阵列, 可通过统计投影在  $i$  位置附近区域处阵元数目获得该阵列在  $\xi$  方向的方向图, 而其该方向的方向图可通过对该分布函数进行离散傅里叶变换获得。

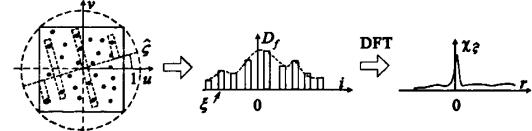


图 2 二维阵列与方向图的关系

Fig. 2 Relationship between the radiation pattern and the shape of array

对于圆形阵列, 由于其阵列关于圆形对称(或在统计学意义上对称), 其任意方向的一维方向图可完全描述该阵列的二维方向图。

### 3.3 混合圆形阵列分析

上一节建立了任意阵列天线阵元布局和其对应的天线方向图的对应关系, 该对应关系可用于分析各种平面阵列的方向图。由于篇幅所限, 本节以混合阵列为例, 说明该方法的有效性。混合阵列<sup>[14]</sup>是一种新型阵列天线结构, 本文将考虑一种较为简单的混合圆形阵列, 即阵列中部为满阵子阵列, 周围为稀疏环形阵列, 如图 3 和图 4 所示。

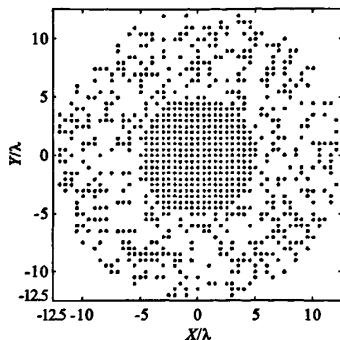


图3 混合圆形阵列  
Fig.3 hybrid circular array

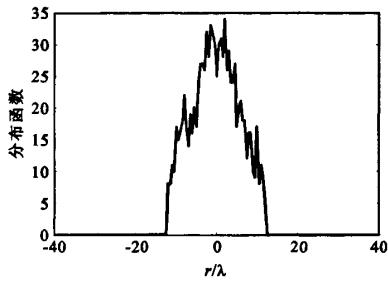


图4 混合圆形阵列分布函数  
Fig.4 Density function of hybrid array

图4为混合圆形阵列天线的方向分布函数。可以看出,该分布函数可看作某窗函数被噪声调制后的结果,该窗函数可在一定程度上降低方向图的旁瓣,而噪声则在天线方向图中引入了随机性。图5为混合圆形阵列天线的二维方向图与一维方向图,其峰值旁瓣比和积分旁瓣比分别为-21.77 dB(存在随机性)和-15.45 dB。而圆形满阵元阵列的其峰值旁瓣比和积分旁瓣比分别为-15.87 dB和-13.94 dB。因此,混合圆形阵列可在一定程度上降低圆形阵列的旁瓣,达到节省天线阵元并优化阵列天线的方向图的目的。

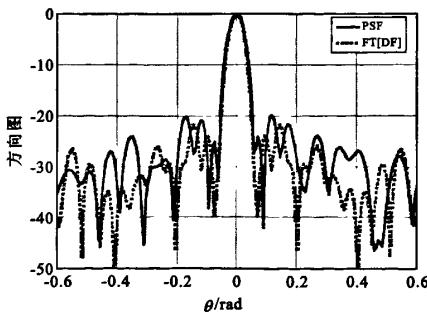


图5 混合圆形阵列某方向的方向图  
Fig.5 1-D radiation pattern of hybrid array

#### 4 基于分布函数的圆形阵列优化

根据上面的分析可以看出阵列分布函数与方向图存在对应关系,因此,通过对分布函数的设计实现对方向图的优化。进一步分析表明,通过阵元分布优化对方向图的优化效果与改变阵元权系数对方向图的优化效果等效。本节将通过对阵列系数的设计实现基于分布函数的圆形阵列优化。

##### 4.1 权系数对方向图的影响

假设每个天线阵元上存在一个正权重系数  $w(\bar{p}_k)$ , 则阵列信号回波可写为

$$s(\bar{p}_k; \bar{p}_{tar}) = w(\bar{p}_k) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot R_k^{\text{tar}} / \lambda) \quad (23)$$

相应地,其方向图可表示为

$$\chi(\bar{p}_u) = \frac{1}{\Psi} \sum_{\bar{p}_k \in D_{SA}} w(\bar{p}_k) \cdot s(\bar{p}_k; \bar{O}) \cdot s^*(\bar{p}_k; \bar{p}_u) \quad (24)$$

假设所有权系数均为自然数,则式(24)可表示为

$$\chi(\bar{p}_u) = \frac{1}{\Psi} \sum_{\bar{p}_k \in D_{SA}} \sum_w s(\bar{p}_k; \bar{O}) \cdot s^*(\bar{p}_k; \bar{p}_u) \quad (25)$$

该公式的物理意义如图6所示,表明在某个阵元上调制权重系数  $w$  相当于在该位置放置  $w$  个权重系数为1的阵元。

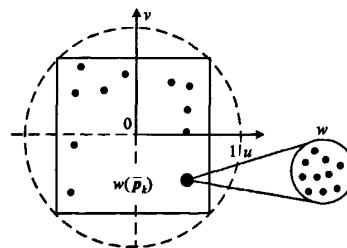


图6 权系数对方向图的影响  
Fig.6 Effect of weight coefficient on radiation pattern

当权重系数为正实数时,通过将式(25)乘以某个足够大的正实数,并对所有权重系数进行取整近似,可很容易地将上述结论扩展到正实数的情况,即改变权重系数即可改变阵列天线阵元的等效分布。另外,与改变阵元数目相比,加权的方法可为任意正实数,更便于设计实现。下面将给出一种基于分布函数的圆形阵列天线优化方法。

##### 4.2 基于分布函数的优化方法

由于圆形阵列关于圆点对称,如果其权系数也

关于圆点对称,则其方向图关于圆点对称,此时,只需对其一维方向图优化即可实现对该圆形阵列的优化。因此,本文假设其权系数关于圆点对称,即其为半径的函数  $r$ ,而与角度无关  $\theta$ 。

假设该权重函数为  $w(r)$ ,则加权累积函数的积分(即加权分布函数的积分,其关系于概率密度函数和概率累积函数的关系近似)  $C_{wf}(y)$  可表示为

$$C_{wf}(y) = \begin{cases} 2 \int_{-y}^R \cos^{-1}(y/R) w(r) dr d\theta, & y \leq 0 \\ 2 \int_{-y}^R \cos^{-1}(y/R) w(r) dr, & y > 0 \end{cases} \quad (26)$$

$$C_{wf}(\infty) - C_{wf}(-y), y > 0 \quad (27)$$

显然,  $C_{wf}(y)$  对应的加权分布函数为偶函数。

为了实现对圆形阵列的优化,可通过对权重系数  $w(r)$  的设计,使得其对应的加权分布函数满足特定的窗函数,即:

$$C_{wf}(y) = \int_{-\infty}^y \omega(u) du \quad (28)$$

式中,  $\omega(u)$  为期望的窗函数,如汉明窗、Chebyshev 窗等。

由于  $C_{wf}(y)$  为偶函数,只需考虑  $y \leq 0$  的情况,则式(28)可表示为

$$2 \int_{-y}^R \cos^{-1}(y/R) w(r) dr = \int_{-\infty}^y \omega(u) du, y \leq 0 \quad (29)$$

为了求解权系数  $w(r)$ ,可将式(29)离散化为矩阵形式:

$$\mathbf{G} \cdot \mathbf{W} = \mathbf{C} \quad (30)$$

$$\mathbf{G} = 2 \begin{bmatrix} \cos^{-1}(1 - \frac{\Delta y}{R}) & 0 & \cdots & 0 \\ \cos^{-1}(1 - 2 \frac{\Delta y}{R}) & \cos^{-1}(1 - 2 \frac{\Delta y}{R}) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \cos^{-1}(0) & \cos^{-1}(0) & \cos^{-1}(0) & \cos^{-1}(0) \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$\mathbf{W} = [w(R) \quad w(R - \Delta r) \quad \cdots \quad w(0)]^T \quad (32)$$

$$\mathbf{C} = [C_f(-R) \quad C_f(-R + \Delta r) \quad \cdots \quad C_f(0)]^T \quad (33)$$

式中,  $\mathbf{W}$  为离散化的权系数向量,  $\mathbf{C}$  为离散化的期望窗函数,  $\mathbf{G}$  为离散化的积分矩阵。则最优化权系数向量可求解为

$$\mathbf{W} = \mathbf{G}^{-1} \cdot \mathbf{C} \quad (34)$$

式中,  $\mathbf{G}^{-1}$  为  $\mathbf{G}$  的逆矩阵。

假设期望的窗函数为 Chebyshev 窗,其旁瓣高度为  $-70$  dB旁瓣,可计算得到其对应的权系数。

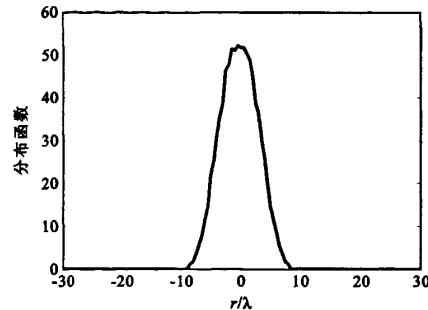


图7 优化加权分布函数

Fig. 7 Optimized density function

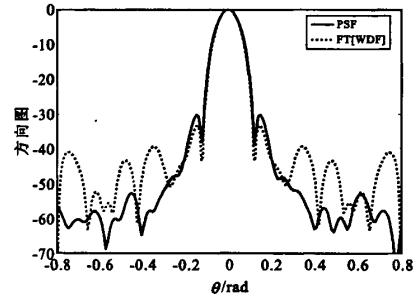


图8 一维方向图

Fig. 8 1-D radiation pattern

从图7可以看出,其形状与 Chebyshev 窗函数较为相似。从图8可以看出,虽然该函数的峰值旁瓣比为  $-30.25$  dB,高于 Chebyshev 窗(但优于前面分析的各种圆形阵列),但在第二旁瓣处出现了陡降,达到了将近  $-50$  dB。另外,由于存在旁瓣的陡降,其积分旁瓣比为  $-30.44$  dB,与峰值旁瓣比接近,要远远优于其它各种圆形阵列(如混合圆形阵列、圆形满阵元阵列等)。

## 5 结论

通过引入分布函数,本文分析了二维阵列天线的方向图,可得到如下结论:

(1) 二维阵列任意方向的方向图为在该方向分布函数的离散傅里叶变换,该分布函数可通过统计其投影在某一方向的临近区域处阵元数目获得;

(2) 该方法可较容易地分析各种二维阵列的方向图特征;

(3)通过改变阵元权重系数即可改变阵列天线对应的分布函数,进而改变该阵列天线的方向图,该方法与通过改变阵列天线阵元分布的方法等效;

(4)利用分布函数可实现对圆形阵列阵元权重系数的优化,使其近似满足特定的窗函数,从而大大改善圆形阵列的波束性能。

### 参考文献:

- [1] Norton S J. Synthetic aperture imaging with arrays of arbitrary shape: Part I. General case [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2002, 49 (4): 399 – 403.
- [2] Kozick R J, Kassam S A. Coarray synthesis with circular and elliptical boundary arrays [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(3):391 – 405.
- [3] Azevedo J A R, Casimiro A M E S. Non-uniform sampling and polynomial interpolation for array synthesis [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2007, 1(4):867 – 873.
- [4] Trucco A, Murino V. Stochastic optimization of linear sparse arrays [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1999, 24 (3):291 – 299.
- [5] Trucco A. Thinning and weighting of large planar arrays by simulated annealing [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1999, 46(2):347 – 355.
- [6] Ferreira J A, Ares F. Pattern synthesis of conformal arrays by the simulated annealing technique [J]. Electronics Letters, 1997, 33(14):1187 – 1189.
- [7] Trucco A. Synthesizing asymmetric beam patterns [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000, 25(3):347 – 350.
- [8] Bevelacqua P J, Balanis C A. Optimizing Antenna Array Geometry for Interference Suppression [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(3):637 – 641.
- [9] Petko J S, Werner D H. The evolution of optimal linear polyfractal arrays using genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 55(11):3604 – 3615.
- [10] Bray M G, Werner D H, Boeringer D W, et al. Optimization of thinned aperiodic linear phased arrays using genetic algorithms to reduce grating lobes during scanning [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2002, 50(12): 1732 – 1742.
- [11] Allard R J, Werner D H, Werner P L. Radiation pattern synthesis for arrays of conformal antennas mounted on arbitrarily-shaped three-dimensional platforms using genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(5):1054 – 1062.
- [12] CHEN Ke-song, YUN Xiao-hua, HE Z, et al. Synthesis of Sparse Planar Arrays Using Modified Real Genetic Algorithm [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(4):1067 – 1073.
- [13] Ares-Pena F J, Rodriguez-Gonzalez J A, Villanueva-Lopez E, et al. Genetic algorithms in the design and optimization of antenna array patterns[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47(3):506 – 510.
- [14] Wilson M J, McHugh R. Sparse-periodic hybrid beamformer[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2007, 1(2): 116 – 123.

### 作者简介:

赵万春(1978 - ),男,四川南充人,硕士研究生,工程师,主要研究方向:雷达系统信号处理;

ZHAO Wan-chun was born in Nanchong, Sichuan Province, in 1978. He is now an engineer and also a graduate student. His research direction is radar signal processing.

Email:mrdspring@sina.com

师君(1979 - ),男,河南南阳人,2009 年获电子科技大学博士学位,现为讲师,主要研究方向:雷达系统及信号处理相关方向。

SHI Jun was born in Nanyang, Henan Province, in 1979. He received the Ph. D. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2009. He is now a lecturer. His research interests include radar signal processing and SAR system.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>