

# PSO和GA在阵列天线波束赋形中的应用

刘瑞斌, 鄢泽洪, 孙从武, 张小苗, 魏文元

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 将粒子群优化算法和遗传算法应用于阵列天线的波束赋形问题中,用MATLAB编制程序分别对10元直线阵和31元圆环阵进行赋形计算,得到了预期的方向图,得出了这两种优化算法在阵列天线波束赋形问题中的优缺点.在计算圆环阵时尝试引入了修正的波恩斯坦多项式以减少需要优化的变量,并结合工程上的需要,用粒子群优化算法给圆环阵赋形计算得到了主波瓣是平顶的方向图.

**关键词:** 粒子群优化算法;遗传算法;阵列天线;波束赋形

**中图分类号:** TN821+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)05-0797-03

## Application of PSO and GA in beamforming of an array antenna

LIU Rui-bin, YAN Ze-hong, SUN Cong-wu, ZHANG Xiao-miao, WEI Wen-yuan

(Key Lab. of Antenna & Microwave Techniques, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Particle Swarm Optimization(PSO) and Genetic Algorithms(GA) are applied to the problem of beamshaping of antenna arrays. We use MATLAB to calculate both the line array with ten elements and the circle array with thirty one elements and obtain the desired beam forms. Comparing PSO with GA we can see their advantages and disadvantages in shaping the beams. We try to use a modified Bernstein polynomial to reduce the number of variables when calculating the circle array. Finally we use PSO to optimize the circle array and obtain a beam form with a flat top which is needed in the practical design.

**Key Words:** PSO;GA;array antenna;shaped beam

根据系统所要求的天线指标和波束形状求解阵列天线的激励幅值、相位、单元间距的过程称为综合<sup>[1]</sup>.阵列天线综合在天线领域是一个比较重要的研究课题.早期提出的天线阵列方向图综合方法<sup>[2]</sup>都是针对某一个特定问题而提出的,如Dolph提出的在均匀线阵的基础上实现切比雪夫方向图的方法;泰勒综合方法主要用来解决阵列天线低副瓣的设计问题;伍德福德方法适用于扇形方向图的综合;贝利斯方法适用于差方向图的综合设计.后来,利用加权最小二乘算法进行阵列天线综合和基于自适应理论进行阵列天线综合,但是这种算法最大的不足是它不能用于有约束条件的阵列综合问题.后来人们把自适应理论应用到了阵列天线的综合中来,但是方向图综合时往往出现与目标方向图逼近较差,综合的结果不利于工程实现等问题.笔者应用了粒子群优化算法(PSO)和遗传算法(GA)对两类阵列天线进行了优化计算.

## 1 遗传算法和粒子群优化算法

GA将生物进化原理应用于优化、搜索技术中,是一种模拟生物进化过程和基于统计随机理论的组合算法<sup>[3,4]</sup>.遗传算法只需利用目标的取值,而无需梯度等信息,程序通用性强,适于并行处理,尤其适用于处理传统搜索方法难于解决的复杂和非线性问题.遗传机制主要包括选择、交叉和变异.它们构成了所谓的遗传操作,使遗传算法具有了其他传统方法所没有的特性.遗传算法已经被许多学者成功地运用到了天线领域,解决了许多阵列天线综合的问题<sup>[5]</sup>.图1是基本遗传算法的流程.PSO算法与其他演化算法相似,也是一种

基于群体的优化算法<sup>[6]</sup>. PSO 算法首先初始化一群随机粒子(随机解),在搜索空间中以一定的速度飞行,然后通过迭代找到最优解.在每一次迭代中,粒子通过跟踪两个极值来更新自己,第一个就是粒子本身所找到的最优解,另一个极值是整个种群目前找到的最优解.设第  $i$  个粒子用  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$  来表示,它经历过的最好位置用  $P_{best} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$  表示.而群体所有粒子经历过的最好位置用  $g_{best}$  表示.粒子  $i$  的速度用  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$  表示.对每一代个体,其第  $d$  维 ( $1 = d = D$ ) 的速度和位置根据如下方程变化:

$$v_{id} = \omega \cdot v_{id} + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (p_{id} - x_{id}) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (p_{gd} - x_{id}) \quad (1)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (2)$$

其中  $\omega$  为惯性权重,  $c_1$  和  $c_2$  为加速常数,  $\text{rand}()$  为  $[0, 1]$  范围内变化的随机函数.此外,粒子的速度  $v_i$  被一个最大速度  $v_{\max}$  所限制.如果当前对粒子的加速导致它在某维的速度  $v_{id}$  超过该维的最大速度  $v_{\max}$ ,则该维的速度被限制为该最大速度  $v_{\max}$ .标准 PSO 算法流程框图见图 2.

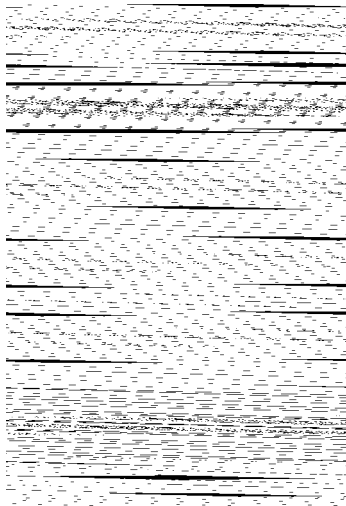


图 1 遗传算法流程框图

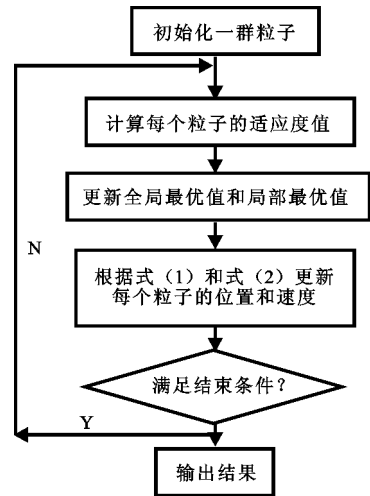


图 2 粒子群算法流程框图

## 2 计算应用

### 2.1 综合扇形波束方向图

用 10 个各向同性的天线单元组成直线阵(见图 3),单元间距  $d$  均为半个波长.激励幅度为  $I_n$  ( $n$  取  $1 \sim 10$ ),激励相位取  $0$  或  $\pi$ .其辐射方向图为  $F(\theta) = \sum_{n=1}^{10} I_n \exp(j(nkd \sin \theta + \beta_n))$ , (其中  $\beta_n = 0$  或  $\pi, n = 1$

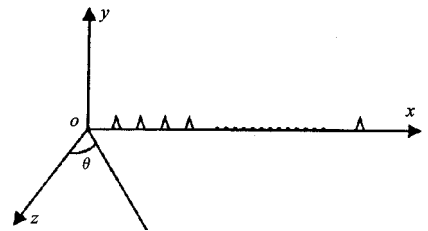


图 3 10 元线阵示意图

$\sim 10$ ).要综合出的扇形波束为  $F_{\text{desired}}(\theta) = \begin{cases} 1, & -\pi/4 < \theta < \pi/4 \\ 0, & \text{其余值} \end{cases}$ .

对于 GA,种群个数设为 100,采用二进制编码,基因定为 45 位二进制数,进化 200 代.对于 PSO,粒子个数设定为 100,每个粒子的维数定为 10(利用单元的激励幅度和相位分布的对称性),迭代 200 代.

表 1 GA 和 PSO 综合 10 元线阵扇形方向图的单元激励幅度和相位

阵元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GA 振幅	0.0784	0.0784	0.1216	0.0784	0.9176	0.9176	0.0784	0.1216	0.0784	0.0784
GA 相位	$\pi$	0	$\pi$	$\pi$	0	0	$\pi$	$\pi$	0	$\pi$
PSO 振幅	0.2743	0.9763	0.3645	0.1019	0.3085	0.3085	0.1019	0.3645	0.9763	0.2743
PSO 相位	0	$\pi$	0	0	0	0	0	0	$\pi$	0

由图 4 可看出,GA 和 PSO 的优化方向图基本一致,都达到了要求.从表 1 中可看出两种优化所得到的单元激励幅度和相位存在较大差异,这是由于阵列优化问题本身就是多值问题,允许由不同的幅相得到相似的方向图.

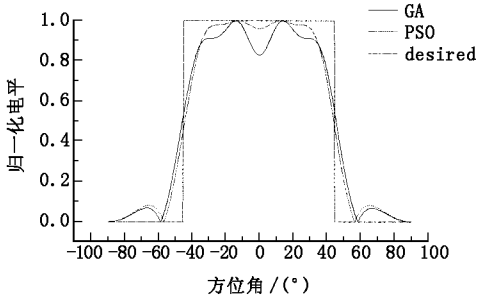


图 4 10 元线阵的优化结果

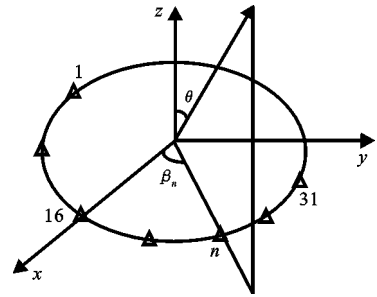


图 5 31 元环阵示意图

### 2.2 综合一个圆环阵

要求主瓣波束宽度为  $30^\circ$ , 副瓣电平小于  $-35$  dB. 阵列由 31 个各向同性的单元组成, 见图 5, 分布在半径为 6 个波长的部分圆环上, 单元间距为半个波长. 为了减少优化变量的个数, 引入修正的伯恩斯坦多项式<sup>[7]</sup>, 其方程为

$$F(U) = \begin{cases} B_1 + \frac{1 - B_1}{A^{MA} (1 - A)^{M(1-A)}} U^{MA} (1 - U)^{M(1-A)} & , \quad 0 \leq U \leq A \\ B_2 + \frac{1 - B_2}{A^{MA} (1 - A)^{M(1-A)}} U^{MA} (1 - U)^{M(1-A)} & , \quad A \leq U \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中  $B_1, B_2, M, A$  是多项式中的 4 个参数. 多项式的单峰值出现在  $U = A$  处,  $B_1, B_2$  分别确定多项式两个端点的值  $F(0), F(1)$ . 增大  $M$  的值可使多项式的形状变得陡峭, 减小则平坦.  $\theta = 90^\circ$  时, 圆环阵的方向图函数为  $E(90,$

$\phi) = \sum_{n=1}^{31} F(U)_n \exp(jkr(\cos(\phi - \beta_n) - \cos(\beta_n)))$ , 其中  $F(U)_n$  是第  $n$  个单元的激励幅度, 是  $F(U)$  的第  $n$  个等分采样点的值,  $\beta_n$  是第  $n$  个单元的激励相位(以阵列中心为相位参考点),  $r$  是阵列的半径,  $k$  是波数.

通过对  $M, A, B_1, B_2$  4 个参数的适当选择, 可得到合适的  $F(U)$  并在其上采样 31 个点, 采样点的值作为对应天线单元的激励幅度值, 进而得到阵列的低副瓣、窄波束的方向图. 选取适当的适应度函数, 分别运用 GA 和 PSO 对  $M, A, B_1, B_2$  进行优化.  $A, B_1, B_2$  变化范围是  $0 \sim 1$ ,  $M$  的变化范围是  $1 \sim 20$ . 使主瓣波束宽度小于  $30^\circ$ , 副瓣电平低于  $-35$  dB. 对于 PSO, 粒子个数设置为 20, 每个粒子的维数设为 4 ( $A, B_1, B_2, M$ ), 迭代 500 次. 对于 GA, 种群个数设为 100, 基因设为 40 位的二进制数 ( $A, B_1, B_2, M$  分别为用 8 位二进制数表示), 进化代数设为 100 代. 图 6 给出了运算结果.

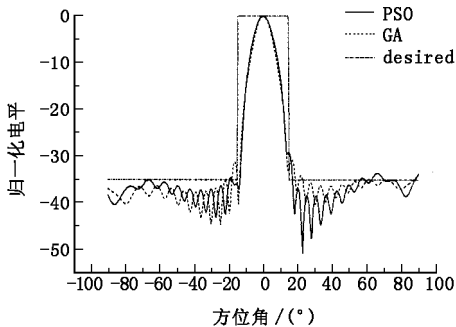


图 6 31 元环阵的优化结果

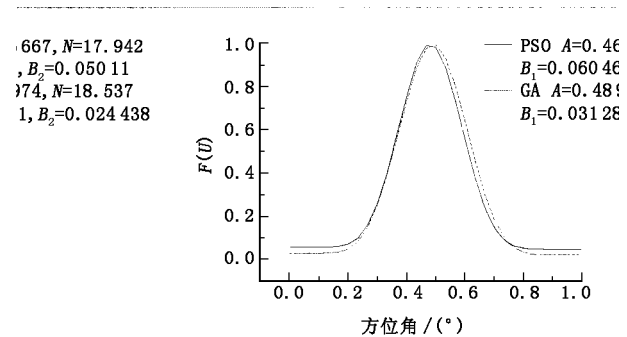


图 7 单元激励幅度分布

由图 6 可看出, PSO 和 GA 达到了优化要求. 比较 GA 和 PSO 的结果, 发现两者的主波瓣几乎重叠, 后者的副瓣更低. 图 7 是优化得到的  $F(U)$  形状, 由于 GA 和 PSO 算法优化出的  $F(U)$  略有差别, 从而导致了图 6 中方向图的细小差异. 但是这差异是可以容忍的, 优化精度是足够的. 同时发现, 采用波恩斯坦多项式大大减少了优化参数(只有 4 个), 提高了优化速度, 但是由于它是单峰值函数, 所以在优化中不可避免只能得到锐波束方向图. 由于在工程应用中有时需要较窄的主瓣并且在主瓣范围内电平衰减很小, 于是又尝试得到主波束是平顶的方向图, 发现直接将 31 个天线单元的激励电流幅度作为变量进行优化, 可得到不错的结果, 此时激励幅度已经