

文章编号 1005-0388(2007)01-0027-06

一种有阵元间距约束的稀布阵 天线综合方法*

陈客松 韩春林 何子述

(电子科技大学电子工程学院, cks149@126.com, 四川 成都 610054)

摘 要 提出了一种基于改进遗传算法的稀布阵综合新方法, 用于优化设计有最小阵元间距约束的稀布线阵。该方法利用个体的实值编码提高了遗传算法的优化效率, 通过设计遗传操作预处理和后处理, 并采用一种广义的交叉算子和变异算子, 有效地避免了基因重组和变异时出现不可行解。在给定阵列孔径和阵元数的条件下, 高效地实现了任意最小阵元间距约束下抑制稀布线阵峰值旁瓣电平的稀布直线阵列综合。给出了应用该方法的具体步骤, 并通过仿真实验证实了该方法的有效性和稳健性。

关键词 稀布阵, 遗传算法(GA), 旁瓣电平, 优化布阵

中图分类号 TN820.1⁺5 TN820.1⁺3

文献标识码 A

A synthesis technique for linear sparse arrays with optimization constraint of minimum element spacing

CHEN Ke-song HAN Chun-lin HE Zi-shu

(School of Electronic Engineering, UESTC, cks149@126.com, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract For element location synthesis of linear sparse arrays with the design constraint of minimum element spacing, an improved genetic algorithm (IGA) is presented in this paper. It effectively improves the GA's performance by real valued coding of chromosome. The genetic preparative and post-treatment operation are designed to pick-up and reconstruct genetic information of the GA population, respectively. And the broad sense crossover and mutation operator of IGA are applied to avoid infeasible solution in filial generation population. When the aperture and number of element are fixed, the new method can run with the adjustable minimum element spacing and great efficiency so as to achieve lower peak sidelobe level (PSLL) of the sparse array. The simulated results confirm the great efficiency and the robustness of IGA.

Key words sparse arrays, genetic algorithm (GA), sidelobe level, optimum arrays

1 引 言

20 世纪 60 年代以来, 稀布阵因具有高目标分辨力和较低的成本而受到广泛的研究, 至今已成功

应用于射电天文、高频地面雷达、抗环境干扰的卫星接收天线等领域。相对于均匀阵列综合而言, 非均匀稀布阵列的综合(给定阵元数和阵列响应, 确定阵元位置和激励分布)一直是未解决得很好的难题。

* 收稿日期: 2005-08-31.

基金项目: 国防科技重点实验室基金资助项目(51431040205DZ0209)

原因在于非均匀阵列综合受限于两方面的因素^[1,2],一方面阵列响应是阵元位置的复指数或三角函数,所以阵元位置优化设计是一个非线性优化问题;另一方面,从工程实际考虑,为减小阵元间的互耦,阵元间距必须满足一定的约束(比如不小于某一给定值)。针对阵元位置综合问题的第一方面的因素,出现了动态规划法^[3]、统计优化方法^[4]、模拟退火法^[5]、遗传算法^[6,7]等优化波束宽度或旁瓣电平的方法;对于综合问题第二方面,已经出现了两类解决约束的方法,其一是天线单元在一定孔径范围内随机稀疏的稀疏阵,其阵元间距满足一定的间距约束^[1,2],其二是阵元只允许从相距半波长的规则栅格上稀疏的稀疏阵^[3,6~8],由于第一种约束使优化布阵具有更大的自由度,相同阵元数和孔径条件下综合的稀疏阵有更优的峰值旁瓣性能,近年来已受到相当的重视^[1,2,9]。遗传算法作为一种新的全局优化方法,它的内在机理使得它适用于求解非线性优化问题,所以用于解决稀疏阵优化布阵问题已进行了不少的研究^[6,7,10~13]。这些研究大多数是针对第一类约束,如文献[6,7,10,13],第二类约束(阵元间距约束)下基于遗传算法实现的稀疏阵综合仅在文献[12]中提到,但那里没有涉及孔径约束。本文来讨论有孔径和阵元数约束时,如何用遗传算法实现任意最小阵元间距约束下抑制旁瓣电平的稀疏阵列综合问题。

2 IGA 用于稀疏阵综合

遗传算法作为一种搜索工具和优化方法,在阵列天线设计等电磁学问题中正广泛地应用着^[14,15],有最小阵元间距约束的稀疏阵综合是基于一种改进的遗传算法。

2.1 优化变量的实值编码和 GA 适应度函数

设优化布阵问题为如图 1 所示的稀疏线阵,阵列孔径为 L ,阵元数为 N (N 为正整数),为保持阵列孔径为 L ,使 $d_1=0, d_N=L$,求取阵元位置 (d_2, \dots, d_{N-1}) ,满足 $\min\{d_i - d_j\} \geq d_c$,其中 d_c 为最小阵元间距, $1 \leq j < i \leq N$,使该阵的 PSL 最低,即

$$\begin{cases} \min \text{PSLL} = f(d_2, d_3, \dots, d_{N-1}) \\ \text{s. t. } d_i - d_j \geq d_c > 0 \\ i, j \in Z, \quad 1 \leq j < i \leq N \end{cases} \quad (1)$$

取阵元位置矢量 (d_2, \dots, d_{N-1}) 为决策变量,它是实变量元素构成的实向量。将一个稀疏直线阵列的阵元位置向量作为一个个体,个体的每个基因值用某一范围内的一个浮点数来表示,即实值编码方法

法,其特点是编码使用决策变量的真实值,它不仅使 GA 的变异操作能够保持更好的种群多样性,还克服了二进制编码方法运行性能差的缺点,使 GA 有较高精度和运算效率。

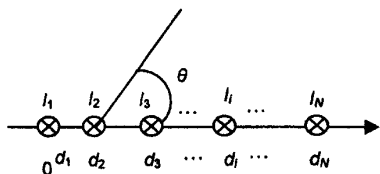


图 1 稀疏线阵的阵列结构

GA 的适应度函数评价每个个体的优劣,一个阵元位置矢量为 $(d_1, d_2, \dots, d_{N-1}, d_N)$ 的 N 元稀疏阵列,阵元无方向性时的方向图为

$$E(u) = \sum_{n=1}^N I_n \exp(jkud_n) \quad (2)$$

式中 I_n 为第 n 个阵元的激励; $u = \cos(\theta)$, θ 是扫描角, $0 \leq \theta \leq \pi$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; 本文的讨论中,设各阵元的激励等幅同相,即 $I_n = 1, n = 1, \dots, N$, 又 $d_N = L, d_1 = 0$, (2) 式为

$$\begin{aligned} E(u) &= \sum_{n=1}^N I_n \exp(jkud_n) \\ &= \sum_{n=2}^{N-1} I_n \exp(jkud_n) + \exp(jkuL) + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

以降低稀疏线阵的峰值旁瓣电平为优化目标,依据最大峰值旁瓣电平 ($\max \text{PSLL}$) 构造适应度函数^[6]

$$\begin{aligned} \text{fit}(d_1, d_2, \dots, d_{N-1}) &= \max \left\{ \left| \frac{E(u)}{FF_{\max}} \right| \right\} = \\ &= \max \left\{ \left| \frac{\sum_{n=2}^{N-1} \exp(jkud_n) + \exp(jkuL) + 1}{FF_{\max}} \right| \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

式中 FF_{\max} 是主瓣峰值; $|u| \geq 2C_0/N$; u 的取值区间需排除主瓣区域,阵元间距为半波长的 N 元均匀阵列的第一对零点出现在 $u = \pm 2/N$,由于阵元的稀疏会造成第一对零点的偏移,故引入修正常数 C_0 。

目标函数为

$$f(d_1, d_2, \dots, d_{N-1}) = \min \{ \text{fit}(d_1, d_2, \dots, d_{N-1}) \} \quad (5)$$

2.2 创建初始群体

可以按照传统 GA 的步骤,产生 N 个随机数组成阵元位置向量,检查它若满足所有约束,则取为可

行解,但这样作效率太低,下面采用一种新方法来创建初始群体。

孔径上有 N 个阵元,设第一阵元坐标为 0,第 N 阵元坐标为 L ,为满足最小阵元间距约束 d_c ,需满足第 2 阵元坐标 $d_2 \geq d_c$,第 $N-1$ 阵元坐标 $d_{N-1} \leq L-d_c$,所以孔径上还剩剩余的区间长度为 $L-2d_c$,稀布余下的 $N-2$ 个阵元,由于 $N-2$ 个阵元之间要满足最小阵元间距约束,将有长为 $(N-3)d_c$ 的区间上不能布置阵元,这样,孔径上共剩余的区间为

$$\begin{aligned} SP &= L - 2d_c - (N-3)d_c \\ &= L - (N-1)d_c \end{aligned} \quad (6)$$

用随机数生成器生成闭区间 $[0, SP]$ 内的 $N-2$ 个随机数并从小到大排序,得 $\mathbf{X} = [x_2 \ x_3 \ \cdots \ x_{N-1}]^T$,运用下面的方法得到孔径上 $N-2$ 个阵元位置组成的矢量

$$\begin{bmatrix} d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_{N-1} \end{bmatrix} = \mathbf{X} + \begin{bmatrix} d_c \\ 2d_c \\ \vdots \\ (N-2)d_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 + d_c \\ x_3 + 2d_c \\ \vdots \\ x_{N-1} + (N-2)d_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

经转换可得一个完整个体的阵元位置矢量

$$\mathbf{S} = [0 \ d_2 \ \cdots \ d_{N-1} \ L]^T \quad (8)$$

不难证明,上述方法生成的个体满足了阵元数为 N ,孔径为 L ,最小阵元间距约束 d_c 。要生成种群数为 M 的初始群体,只需用随机数生成器独立地生成 M 个向量 \mathbf{X} ,然后经变换(7)式可得到形如(8)式的个体,由这些个体即可创建初始群体。

2.3 遗传操作预处理及后处理

遗传操作预处理是广义交叉和广义变异两种遗传操作之前的基因信息提取,遗传操作后处理是遗传操作后重新形成子代群体的必要过程。设计遗传操作预处理和后处理,是为避免子代中出现不可行解做准备。

设父代个体已满足阵元数、孔径和最小阵元间距约束 d_c ,将种群数为 M 的父代群体记成矩阵形式

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \cdots & d_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{N-1,1} & d_{N-1,2} & \cdots & d_{N-1,M} \\ L & L & \cdots & L \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中 \mathbf{F} 的每个列矢量表示一个完整个体的阵元位置矢量。

令由阵元数 N 和最小阵元间距约束 d_c 确定的数量矩阵为约束矩阵 \mathbf{C}
万方数据

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ d_c & d_c & \cdots & d_c \\ 2d_c & 2d_c & \cdots & 2d_c \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (N-2)d_c & (N-2)d_c & \cdots & (N-2)d_c \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

定义 1:由形如 \mathbf{F} 的父代群体 \mathbf{F}_1 到遗传操作(广义交叉和广义变异)前的基因矩阵 \mathbf{P} 的如下变换为遗传操作预处理

$$\mathbf{P} = \mathbf{F}_1 - \mathbf{C} \quad (11)$$

定义 2:由遗传操作(广义交叉和广义变异)后的基因矩阵 \mathbf{P}' 到子代群体 \mathbf{F}_2 的如下变换为遗传操作后处理

$$\mathbf{F}_2 = \mathbf{P}' + \mathbf{C} \quad (12)$$

其中 \mathbf{P}' 是基因矩阵 \mathbf{P} 经广义交叉算子和广义变异算子作用后得到的基因信息矩阵。

2.4 广义交叉算子和广义变异算子

这里,由于满足最小阵元间距约束的父代个体经常规的交叉或变异产生的子代个体可能不再满足最小阵元间距约束,即子代中出现了是不可行解的个体,使得优化问题难以求解,所以需要修正交叉和变异算子来避免不可行解的出现。

文中使用的广义交叉算子首先依据交叉概率随机选定两个基因向量(基因矩阵 \mathbf{P} 的列向量),然后把随机选定的交叉位置上的对应元素交换,最后将得到的两个基因向量的元素从小到大排序;广义变异算子首先按变异概率随机选定需变异的基因向量,然后将随机选定的变异位置上的元素用区间 $[0, SP]$ 内的一个随机数取代,最后对该基因向量的元素从小到大排序。一方面,经典遗传算法的交叉算子和变异算子作用的对象是个体的编码,而本文的广义交叉和变异的对象不是真正意义上的个体编码,是父代群体经遗传操作预处理后的群体,即(11)式得到的基因矩阵 \mathbf{P} ,另一方面,本文的广义交叉和变异在通常的交叉和变异运算之后,还对子代个体基因向量的元素从小到大排序,即使得 \mathbf{P}' 阵的每列元素是从小到大排列的。基于上述两方面的原因,本文称之为广义交叉算子和广义变异算子。这两种广义遗传算子作用后的基因矩阵 \mathbf{P}' 经(12)式的遗传操作后处理将得到子代群体 \mathbf{F}_2 。经广义交叉算子和广义变异算子作用后,由于基因向量的元素是从小到大排列的(且第一个元素总是 0,第 N 元素总是 L),后一元素减去前面任一元素之差值总是非负的,遗传操作后处理将基因向量的元素依顺序加上

$0, d_c, 2d_c, \dots, (N-2)d_c, 0$, 它使得前 $N-1$ 个基因向量的相邻元素(即阵元坐标)都拉开了 d_c 的距离, 所以前 $N-1$ 个阵元已满足最小阵元间距约束, 第 $N-1$ 个阵元坐标可能的最大值是 $SP+(N-2)d_c$, 将(6)式代入即可验证第 $N-1$ 个阵元坐标可能的最大值是 $L-d_c$, 它与第 N 阵元至少相距 d_c , 所以阵元位置向量的元素均满足两两之间相距不小于 d_c , 即本文使用的广义交叉算子和广义变异算子避免了子代中出现不可行解, 设计这样的遗传操作将有利于提高优化效率。本文的个体是实值编码的阵元位置矢量, 适用离散重组, 例如设父代染色体为

$$\begin{aligned} F_1 &= (f_{1_1} \cdots f_{1_{k-1}} \quad f_{1_k} \quad f_{1_{k+1}} \cdots f_{1_n}) \\ F_2 &= (f_{2_1} \cdots f_{2_{k-1}} \quad f_{2_k} \quad f_{2_{k+1}} \cdots f_{2_n}) \end{aligned}$$

如果使用单点广义交叉算子, 选中了第 k 个位置上元素进行交叉, 则生成的子代染色体为

$$\begin{aligned} S_1 &= \text{sort}(f_{1_1} \cdots f_{1_{k-1}} \quad f_{2_k} \quad f_{1_{k+1}} \cdots f_{1_n}) \\ S_2 &= \text{sort}(f_{2_1} \cdots f_{2_{k-1}} \quad f_{1_k} \quad f_{2_{k+1}} \cdots f_{2_n}) \end{aligned}$$

3 算法步骤

改进的遗传算法的步骤如下。

- (1) 初始群体建立;

(2) 计算群体中个体的适应度;

(3) 判断优化准则是否满足, 若已满足则转(9)式, 否则继续;

(4) 选择优势个体;

(5) 遗传操作预处理;

(6) 广义交叉操作;

(7) 广义变异操作;

(8) 遗传操作后处理, 转(2)式;

(9) 输出最佳个体, 结束。

4 仿真实例

文献[1]采用分数阶勒让德变换的方法, 实现了阵元间距约束为 $0.5\lambda \leq d_c \leq 1.0\lambda$ 的稀布线阵的设计, 优化目标是峰值旁瓣电平(PSLL)尽量低。为验证 IGA 方法的有效性和稳健性, 下面用它综合两例稀布阵, 并与其他文献的综合结果进行对比。

仿真实例 1: 文献[1]的一例稀布阵

文献[1]的表 II (a) 左栏给出了一例稀布线阵, 优化目标为阵列响应是具有主波束边缘陡降的笔形波束且 PSLL 尽量低。它是总阵元数为 17 的一例对称阵, 阵元间距约束为 $0.5\lambda \leq d_c \leq \lambda$, 阵元间距见表 1, 可以算得, 该线阵的孔径是 9.744λ , 峰值旁瓣电平(PSLL)是 -19.49 dB。

万方数据

运用 IGA 方法, 设定阵元数为 17, 阵列孔径为 9.744λ , 最小阵元间距约束 $d_c \geq 0.5\lambda$, GA 的基本参数为: 种群数为 200, 采用截断选择法, 截断阈值 50%, 交叉概率 0.5, 变异概率 0.01, 终止代数数为 300, 初始群体生成和变异时采用均匀分布随机数生成器, 为保证收敛, 还采用了最佳保留选择机制。为检验本文方法的有效性, 独立随机地进行了 5 次仿真试验, 表 1 列出了优化后的 PSLL 最差和最优线阵的各阵元间距和文献[1]的方法所得结果。5 次仿真试验得到的结果中, 4 个线阵的 PSLL 低于 -19.49 dB, 图 2 是文献[1]的稀布阵与本文综合得到的最优稀布阵方向图对比。分析可见, 本文的方法取得了预期的效果。

表 1 仿真实例 1 的稀布线阵优化结果的数值对比

天线单元序号	文献[1]阵元间距(λ)	IGA5 次最差阵阵元间距(λ)	IGA5 次最优阵阵元间距(λ)
1 和 2	0.796	0.635	0.619
2 和 3	0.769	0.945	0.898
3 和 4	0.717	0.500	0.703
4 和 5	0.590	0.603	0.567
5 和 6	0.500	0.527	0.526
6 和 7	0.500	0.522	0.500
7 和 8	0.500	0.504	0.501
8 和 9	0.500	0.500	0.500
9 和 10	0.500	0.500	0.500
10 和 11	0.500	0.500	0.500
11 和 12	0.500	0.523	0.500
12 和 13	0.500	0.537	0.587
13 和 14	0.590	0.563	0.565
14 和 15	0.717	0.816	0.646
15 和 16	0.769	0.816	0.817
16 和 17	0.796	0.753	0.816
PSLL	-19.49 dB	-19.38 dB	-19.72 dB

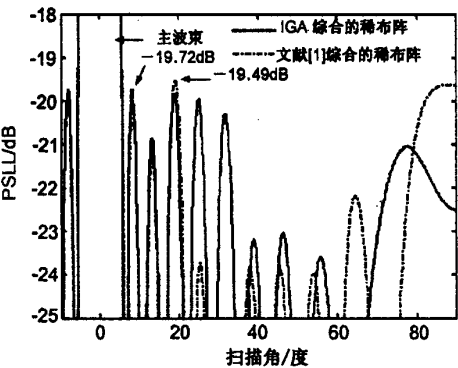


图 2 最优稀布阵方向图对比

仿真实例 2: 文献[9]的一例稀布阵

文献[9]提出了利用 Z 变换和单位圆分析的方法综合稀布阵,文中给出一例通过近似求解超越方程组得到的对称稀布线阵,其阵元坐标见表 2,阵元数为 14,阵列孔径为 6.522λ ,可以算得该阵的峰值旁瓣电平是 -20.2 dB ,最小阵元间距是 0.278λ (出现在最中心两阵元之间)。运用 IGA,设定阵元数为 14,阵列孔径为 6.522λ ,最小阵元间距约束 $d_c \geq 0.278\lambda$,GA 的基本参数同仿真实例 1。独立随机地进行 10 次试验,表 2 列出了优化后的 PSL 最差和最优阵的各阵元坐标,图 3 是 IGA 单次和 10 次平均收敛曲线;10 次仿真试验得到的阵列的 PSL 仅一例高于 -20.2 dB ,平均 PSL 为 -20.56 dB ;图 4 是文献[9]的稀布阵与本文得到的最优稀布阵方向图对比。分析可见,本文的方法收敛快,数值结果较好。

表 2 仿真实例 2 的稀布阵优化结果的数值对比

天线 单元 序号	文献[9]阵 元坐标 (λ)	IGA10 次最 差阵阵元 坐标(λ)	IGA10 次最 优阵阵元 坐标 (λ)
1	-3.261	-3.261	-3.261
2	-2.576	-2.651	-2.478
3	-1.934	-2.094	-1.898
4	-1.501	-1.550	-1.408
5	-0.979	-1.088	-0.963
6	-0.649	-0.654	-0.578
7	-0.139	-0.266	-0.204
8	0.139	0.119	0.185
9	0.649	0.537	0.585
10	0.979	0.978	1.037
11	1.501	1.368	1.483
12	1.934	1.875	1.964
13	2.576	2.530	2.589
14	3.261	3.261	3.261
PSL	-20.20 dB	-20.09 dB	-21.12 dB

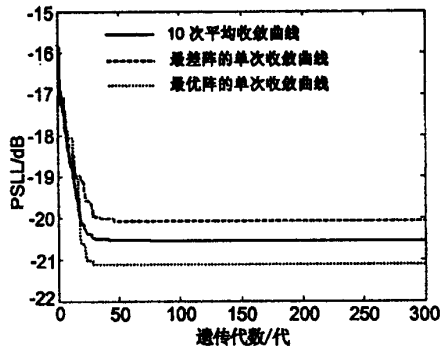


图 3 IGA 收敛曲线

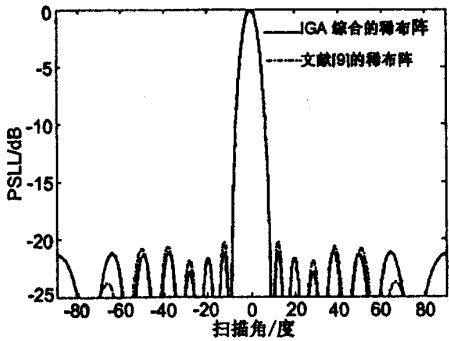


图 4 最优稀布阵方向图对比

5 结论

基于改进的遗传算法,本文提出了一种综合有最小阵元间距约束的稀布线阵的新方法,它将稀布线阵的综合从规则栅格的稀疏约束拓展为最小阵元间距约束,使得阵列获得了更优的旁瓣性能,最小阵元间距可以事先依据阵元间的互耦情况设定,因而这种新方法更大程度地满足了工程设计的需要。IGA 在计算量仅增加约束矩阵的加减和基因矩阵元素的数值排序的情况下,不仅避免了优化过程中不可行解的出现,提高了优化效率,而且使得本文的多约束稀布阵综合问题得以有效地实现,仿真试验表明方法是有效的、稳健的,有一定的实用性。

参考文献

[1] Kumar B P and Branner G R. Design of unequally spaced arrays for performance improvement [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1999, 47(3):511-523.

[2] Kesong Chen, Zishu He and Chunlin Han. A modified real GA for the sparse linear array synthesis with multiple constraints[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 2006, 54(7):2167-2173.

[3] Skolnik M I, Nemhauser G, and Sherman J W. Dynamic programming applied to unequally spaced arrays [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1964, AP-12 (1):35-43.

[4] Mailloux R J and Cohen E. Statically thinned arrays with quantized element weights [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1991, 39(4):436-447.

[5] Murino V, Trucco A, and Regazzoni C S. Synthesis of unequally spaced arrays by simulated annealing [J]. IEEE Trans. Antennas Signal Processing, 1996, 44 (1): 119-123.

- [6] Randy L Haupt. Thinned arrays using genetic algorithms[J]. IEEE Trans. 1994, AP-42(7):993-999.
- [7] 王玲玲,方大纲. 运用遗传算法综合稀疏阵列[J]. 电子学报, 2003, 31(12A):2135-2138.
- [8] Lo Y T and Lee S W. A study of space-tapered arrays [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1966, AP-14 (1): 22-30.
- [9] Randy L Haupt. Unit circle representation of aperiodic arrays [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1995, 43 (10): 1152-1155.
- [10] 付云起,袁乃昌,毛钧杰. 基于遗传算法和模拟退火的等间距稀疏阵列的设计[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(7):700-704.
- [11] Keen-Keong Yan, Yilong Lu. Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1997, 45(7):1117-1122.
- [12] 李东风,龚中麟. 遗传算法应用于超低副瓣线阵天线方向图综合[J]. 电子学报, 2003, 31(1):82-84.
- [13] O'Neill D J. Element placement in thinned arrays using genetic algorithms [J]. IEEE 1994; II 301- II 306.
- [14] 马云辉. 阵列天线的遗传算法综合[J]. 电波科学学报, 2001, 16(2):172-176.
- Ma Y H. Synthesis of the array antennas using genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(2):172-176.

- [15] 刘昊,郑明,樊德森等. 遗传算法在阵列天线赋形波束综合中的应用[J]. 电波科学学报, 2002, 17(5): 539-542.

Liu H, Zheng M, Fan D S, *et al.*. Synthesis of antenna arrays shaped-beam using genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(5): 539-542.



陈客松 (1973—), 男, 四川人, 博士, 电子科技大学讲师, 现主要从事阵列天线优化设计、自适应天线、阵列信号处理和雷达系统等方面的研究工作。



韩春林 (1962—), 男, 天津人, 电子科技大学教授。现主要从事雷达信号处理, 阵列信号处理等方面的研究工作。



何子述 (1962—), 男, 四川人, 教授, 电子科技大学博士生导师, 现主要从事雷达信号处理, 阵列信号处理、数字波束形成, 智能天线、无线通信等方面的研究工作。

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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),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>