

# 团队进步算法与遗传算法和粒子群算法 进行天线阵综合的比较

刘彬

(南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京 210003)

**摘要** 团队进步算法(TPA)是近期由研究者提出的一种新型优化算法,具有与传统优化算法不同的寻优机制。函数测试结果表明,该算法是一种能够兼顾避免早熟收敛和计算速度的有效的优化算法。文章将团队进步算法、遗传算法和粒子群算法应用于阵列天线方向图综合,给定阵列天线合适的设计要求,用 Matlab 编制程序对阵列天线进行了优化计算。通过对三种优化算法的综合结果比较,表明新算法在应用于较复杂的阵列天线方面以及在优化性能方面的优越性,显示了新算法在天线设计中的广泛应用前景。

**关键词** 阵列天线 方向性图 团队进步算法 遗传算法 粒子群算法

## 0 引言

在雷达、通信等领域,经常会用到特殊形状的波束(如扇形波束、余割波束以及低副瓣和零陷等<sup>[1-5]</sup>),人们可以根据波束形状和性能参量要求设计天线数目、单元间的距离、激励幅值和相位,这个过程称为综合。天线阵方向图综合和优化是一个典型的多极值、非线性的多维优化问题<sup>[6]</sup>。当阵元数目较大或兼顾多个优化指标时,传统优化算法(如 Powell 法、共轭梯度法等)存在难以获得全局或近似全局最优值等缺点,优化的方向图如果与目标方向图逼近较差,综合结果不利于工程实现。因此,衡量一种计算方法相对优劣的标准应该是综合方向图与目标方向图逼近的程度及综合优化速度。近几年,遗传算法<sup>[7-10]</sup>和粒子群算法<sup>[11-13]</sup>在阵列天线等多维复杂优化问题方面已有广泛应用。然而,虽然遗传算法收敛较快,但程序相对复杂,要成功实现遗传算法应用,算法的运算算子和算法参数都要适当选

取和设置;而粒子群算法在避免早熟收敛方面存在缺陷,需要更多的调试。团队进步算法<sup>[14]</sup>是近期研究者提出的一种兼顾全局搜索和局部搜索、同时又兼顾收敛速度的双群体优化算法。该文应用团队进步算法、遗传算法和粒子群算法对天线阵方向图进行综合。

## 1 算法原理

### 1.1 算法介绍

文中采用的遗传算法与传统的遗传算法相似,主要包括二进制编码、适应度函数选取、截断选择、二进制交叉和二进制单点变异操作。粒子群算法也是采用基于群体的优化算法,初始化一群随机粒子,每一次迭代通过跟踪两个极值实现粒子位置和速度更新,并通过迭代最终达到最优值。两种算法都属于单群体的搜索算法。

团队进步算法是基于团队成员分工、合作,可以提高效率这一思想而提出的一种双群体搜索算法,与遗传算法和粒子群算法相比具有不同的寻优机制。首先初始化一团队成员,按评价值大小把该团

收稿日期:2008-09-09; 修回日期:2008-10-23

队成员分为精英组和普通组两组成员,精英组确保收敛速度,普通组确保全局收敛,两组成员在新成员产生规则及学习、探索 and 成员更新规则作用下表现出较快的进步能力,最终能够通过较快的速度产生具有全局最优评价值的成员。

## 1.2 算法流程

(1) 确定算法参数,包括精英组的成员数  $N$ 、普通组的成员数  $M$ 、学习概率  $l$ 、探索强度  $a_e$ 、衰减指数  $a_p$ 、允许的最大迭代次数  $K$ 。随机生成  $N+M$  个团队成员,计算其评价值,根据评价值排序将其分为  $N$  个成员的精英组和  $M$  个成员的普通组,确定最优评价值  $f(\mathbf{x}_{opt})$  ( $\mathbf{x}$  为  $f(\mathbf{x})$  的一个成员)、两组末位评价值  $f(\mathbf{x}_{best})$  和  $f(\mathbf{x}_{worst})$ ,以及对应的成员  $\mathbf{x}_{opt}$ 、 $\mathbf{x}_{best}$  和  $\mathbf{x}_{worst}$ ,用(1)、(2)两式计算样板  $\mathbf{e}_e$  和  $\mathbf{e}_p$ 。置迭代计数变量  $k=0$ ,开始迭代:

$$\mathbf{e}_e = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \mathbf{x}_{ej} \quad (1)$$

$$\mathbf{e}_p = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \mathbf{x}_{pj} \quad (2)$$

(2) 若满足终止条件,则终止迭代,否则执行下一步。

(3) 产生 0 或 1 的二值随机数  $s$ 。若为  $s=0$  则选择精英组,否则选择普通组,用(3)式产生  $\mathbf{x}_i$ ,执行下一步:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \\ \mathbf{x}_{ej} = [x_{ej,1}, x_{ej,2}, \dots, x_{ej,n}]^T \\ \mathbf{x}_{ri} = \mathbf{x}_{em,i}, m_i \text{ 为 } 1 \sim N \text{ 的随机整数} \end{cases} \quad (3)$$

从普通组产生的  $\mathbf{x}_i$  只需要将(3)式中的下标  $e$  改为  $p$ 。

(4) 产生随机数  $r \in (0, 1)$ 。若  $r < l$  ( $l$  一般取 0.2~0.5),则执行下一步;否则转第(7)步。

(5) 如果  $s=0$ ,则用(4)式计算  $\mathbf{x}_e$ ,否则用(5)式计算  $\mathbf{x}_e$ ,计算评价值  $f(\mathbf{x}_e)$ ,转第(7)步:

$$\mathbf{x}_e = (1 + \gamma)\mathbf{x}_i - \gamma\mathbf{e}_p \quad (4)$$

$$\mathbf{x}_e = (1 - \gamma)\mathbf{x}_i + \gamma\mathbf{e}_p \quad (5)$$

$\gamma$  为区间  $(0, 1)$  内均匀分布的随机数。

(6) 如果  $s=0$ ,在(6)中取  $a_{e,p} = a_e$ ,否则在(6)中取  $a_{e,p} = a_p$ 。用(7)式求得,计算评价值,置  $k_e = k_e + 1$ ,执行下一步:

$$t_{e,p} = 1 - \gamma_i^{(1 - k_e/K)^{a_{e,p}}} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \mathbf{x}_e = [x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{en}]^T \\ \mathbf{x}_{ei} = \begin{cases} x_{ri} + t_{e,p}(b_i - x_{ri}), & \text{当 } m_i = 0 \\ x_{ri} - t_{e,p}(x_{ri} - a_i), & \text{当 } m_i = 1 \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

其中  $K$  为算法强制终止时的最大迭代次数,  $k_e$  表示当前迭代次数,  $\gamma_i$  为区间  $(0, 1)$  内均匀分布的随机数,  $m_i$  为 0、1 二值随机数。下标  $i$  表示随机数  $\gamma_i$  和  $m_i$  对不同的能力因素  $x_{ei}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 分别生成。收缩指数  $a_{e,p}$  表示可分别对精英组和普通组取不同的  $a_e$  和  $a_p$ 。

(7) 如果  $f(\mathbf{x}_e) < f(\mathbf{x}_{best})$ ,则  $\mathbf{x}_e$  进入精英组,丢弃  $\mathbf{x}_{best}$ ,用(3)式更新  $\mathbf{e}_e$ ,并根据精英组成重新选出  $f(\mathbf{x}_{opt})$ 、 $f(\mathbf{x}_{best})$ ,更新  $\mathbf{x}_{opt}$  和  $\mathbf{x}_{best}$ ,转(2)步;否则转下一步。

(8) 如果  $f(\mathbf{x}_{best}) < f(\mathbf{x}_e) < f(\mathbf{x}_{worst})$  并且  $r > l$ ,  $\mathbf{x}_e$  进入普通组,丢弃  $\mathbf{x}_{best}$ ,用(4)式更新  $\mathbf{e}_p$ ,用普通组新的评价值排序选出  $f(\mathbf{x}_{best})$  及  $\mathbf{x}_{best}$ ;否则丢弃  $\mathbf{x}_e$ ,转(3)步。

团队进步算法每次迭代只调用一次目标函数,最多可实现一个成员更新,而遗传算法和粒子群算法每次迭代调用目标函数的次数和成员最多更新个数与算法的种群数目相等。

## 2 算法测试

用两个 20 维测试函数对三种算法性能进行测试,结果如表 1 所示。  $f_1$  为 Sphere 函数,  $f_2$  为 Rosenbrock 函数,  $f_3$  为 Schwefel 函数,寻优精度为  $f(\mathbf{x}_{opt}) - f_{\min} < 10^{-8}$ 。  $N_s$  表示全局寻优成功且满足精度的次数,  $N_e$  表示强制终止时全局寻优成功但精度不足的次数,  $N_l$  表示最后陷入局部极值的次数,  $C_{\max}$  和  $C_{\min}$  分别表示单次试验最多与最少的计算数,  $C_{av}$  表示平均计算数。GA 算法参数(种群大小、交叉率、变异率、二进制编码长度、最大迭代次数和保优个数)、PSO 算法参数(粒子数、学习因子  $c_1, c_2$ 、速率限制系数、惯性权重和最大迭代次数)及 TPA 算法参数(精英组成员个数、普通组成员个数、学习概率、精英组收缩强度和最大迭代次数)如表 2 所示。由表 1 中测试数据可看出 TPA 在保证全局收敛的情况下,计算量即调用目标函数的次数大大减少。

表 1 GA、PSO 和 TPA 优化 20 维函数的  
的 50 次试验结果比较

算法	$N_a$	$C_{av}$	$C_{max}$	$C_{min}$	$N_u$	$N_f$
GA -f1	50	33163	38800	29200	0	-
GA -f2	0	-	-	-	50	0
GA -f3	0	-	-	-	0	50
PSO -f1	27	19170	26600	15300	23	0
PSO -f2	0	-	-	-	0	50
PSO -f3	0	-	-	-	0	50
TPA -f1	50	6752	13454	5700	0	0
TPA -f2	45	291720	299647	280731	5	0
TPA -f3	34	26721	34273	20662	0	16

表 2 数值试验的算法参数

GA -f1	(50,0.9,0.001,30,800,5)
GA -f2	(100,0.9,0.001,30,500,10)
GA -f3	(100,0.9,0.01,50,400,10)
PSO -f1	(100,2.0,2.0,2.0,0.1,300)
PSO -f2	(200,2.0,2.0,0.1,0.1,4000)
PSO -f3	(400,2.0,2.0,2.0,0.1,4000)
TPA -f1	(20,100,0.2,50,20000)
TPA -f2	(20,100,0.8,100,300000)
TPA -f3	(50,200,0.3,50,50000)

3 天线阵方向图综合

3.1 线天线阵

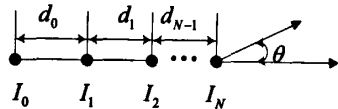


图 1 阵元数目为 N+1 的线阵示意图

图 1 表示的是  $N+1$  个理想点源构成的线阵列,阵元间距为  $d_j(j=0,1,\cdots,N-1)$ ,在不考虑其耦合的条件下,由天线阵的理论知,天线阵的远场方向图可表示为:

$$f_a(\theta) = \sum_{i=0}^N I_i e^{j(kd_{0i}\cos(\theta) + \alpha_i)}$$

式中, $I_i$  和  $\alpha_i$  是第  $i$  个天线单元的辐射幅度和相位, $d_{0i}$  是第  $i$  个单元与第一个单元间的距离, $k =$

$2\pi/\lambda$  为波数, $\lambda$  为波长, $\theta$  为空间辐射角。优化算法综合方向图的目的就是根据给定的目标方向图或性能参量的要求来设计天线的激励幅值  $I_i$ 、相位  $\alpha_i$  和单元间的距离  $d_{0i}$ 。

3.2 应用举例

示例 1-2 中,三种优化算法调用的目标函数次数相同。取 GA 交叉概率为 0.9,变异概率为 0.001,二进制编码长度取 20,PSO 中学习因子  $c_1 = c_2 = 2$ ,惯性权重  $w = 0.1$ ,GA 和 PSO 种群大小都取 100,TPA 学习概率  $l = 0.3$ ,精英组收缩强度  $a_s = 5$ ,两个算例中阵元间距  $d = 0.5\lambda$ ,激励幅值  $I$  的取值范围为  $(1 \sim 14)$ ,激励相位  $\alpha$  取值范围为  $(-\pi \sim \pi)$ 。

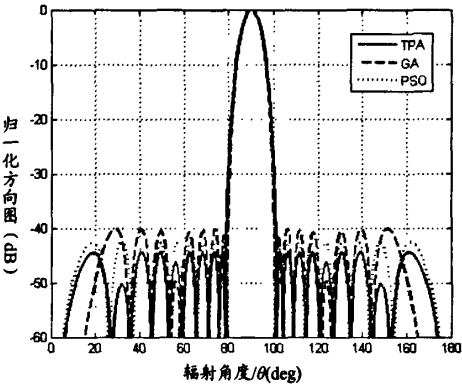


图 2 综合 20 元等相边射阵

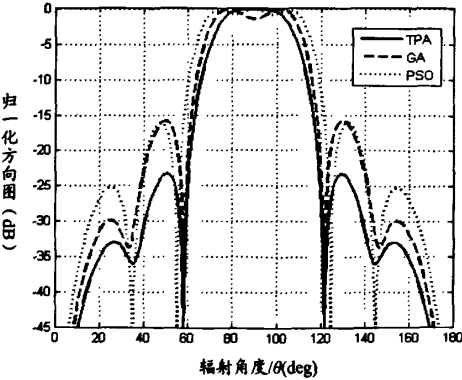


图 3 综合 10 元线阵扇形波束

示例 1:以降低最大旁瓣电平为优化目标,对各单元的激励电流幅值进行优化,单元个数为 20,激励相位  $\alpha_i = 0$ ,取 GA 和 PSO 迭代次数都为 100,TPA 中  $N = 50, M = 100$ ,迭代次数为 10000,优化参数为

20 个。由于只优化激励幅值,利用对称性和相对性,优化变量可减少至 9 个,三种算法优化结果如图 2 所示。

示例 2: 综合扇形波束方向图。在辐射角度  $60^{\circ} \leq \theta \leq 120^{\circ}$  实现  $60^{\circ}$  扇区辐射方向图,同时要尽量降低旁瓣电平,对激励幅值和相位进行优化。设单元个数为 10,取 GA 和 PSO 迭代次数为 30,TPA 中  $N=20, M=50$ ,迭代次数为 3000,待优化参数为 20 个,利用对称性和相对性,可以把优化变量减少为 8 个,三种算法的优化结果如图 3 所示。

表 3 综合 20 元等相边射阵优化变量数据

阵元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GA - I	1.0	1.85	2.77	4.35	5.54	7.38	8.83	10.14	10.99	11.63
PSO - I	1.0	1.56	2.59	3.86	5.31	6.83	8.28	9.52	10.44	10.92
TPA - I	1.0	1.78	3.02	4.61	6.46	8.38	10.38	11.92	13.19	13.82
阵元	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GA - I	11.63	10.99	10.14	8.83	7.38	5.54	4.35	2.77	1.85	1.0
PSO - I	10.92	10.44	9.52	8.28	6.83	5.31	3.86	2.59	1.56	1.0
TPA - I	13.82	13.19	11.92	10.38	8.38	6.46	4.61	3.02	1.78	1.0

表 4 综合 10 元线阵扇形波束优化变量数据

阵元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GA - I	1.00	3.18	1.12	7.53	12.18	1.18	7.53	1.12	3.18	1.00
PSO - I	1.00	5.94	7.58	7.31	13.67	13.67	7.31	7.58	5.94	1.00
TPA - I	1.00	2.13	2.40	8.27	13.15	13.15	8.27	2.40	2.13	1.00
阵元	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GA - $\alpha$ (rad)	0.0	-0.79	-0.14	2.03	2.11	2.11	2.03	-0.14	-0.79	0.0
PSO - $\alpha$ (rad)	0.0	-1.41	-1.82	-3.10	2.69	2.69	-3.10	-1.82	-1.41	0.0
TPA - $\alpha$ (rad)	0.0	0.81	2.2	3.05	3.11	3.11	3.05	2.2	0.81	0.0

示例 2 中,三种算法的迭代次数都为 3000 次,TPA 优化在满足优化要求的同时,副瓣电平已降至 -23.3dB,而 GA 和 PSO 优化的副瓣电平分别降至 -15.9dB 和 -16.1dB。图 2、图 3 综合结果表明,在调用目标函数次数相等的情况下,团队进步算法较另外两种算法的综合天线阵方向图优化性能更好。

示例 1-2:为了使三种算法性能便于比较,三种算法调用目标函数的次数取为相同,应有 TPA 的迭代次数 = GA 或 PSO 种群大小  $\times$  GA 或 PSO 的迭代次数。表 3 中 20 个变量均为激励幅值大小,表 4 中前 10 个变量为激励幅值大小,后 10 个为激励相位大小(用弧度表示)。示例 1 中,在三种算法调用目标函数次数都为 10000 次的情况下,TPA 优化的副瓣电平降至 -44.3dB,而用 GA 和 PSO 算法优化的副瓣电平分别降至 -40.2dB 和 -42.5dB。

4 结论

团队进步算法作为一种新颖的优化算法,为解决多维、非线性复杂优化问题提供了一种有效的解决方法。通过对经典测试函数的实验,显示了新算法在全局收敛性和计算速度方面的优势。为了说明团队进步算法的实用性和有效性,文章基于团队进

步算法、遗传算法和粒子群算法三种优化算法,对天线阵进行了方向图综合。综合结果表明,在调用目标函数次数相等的情况下,团队进步算法相对于另外两种算法,其综合天线阵方向图性能更佳,同时参数设置也相对容易,证明了团队进步算法具有较高的求解效率和实用性,体现了新算法处理复杂问题的能力。

### 参考文献

- [1] Haupt R L. Thinned arrays using genetic algorithms[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1994, 42(7): 993~999
- [2] 殷友廷,杨莘元,冯春楠. 一种阵列天线零点形成的新方法[J]. 应用科技. 2007, 34(8): 5~9
- [3] Yan K K, Lu Y. Sidelobe reduction in array - pattern synthesis using genetic algorithm[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1997, 45(7): 1117~1121
- [4] Ares-Pena F J, Rodriguez-Gonzalez J A, Villanueva-Lopez E, et al. Genetic Algorithms in the Design and optimization of antenna array pattern[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1999, 47(3): 506~510
- [5] 刘瑞斌,鄢泽洪,孙从武,等. PSO 和 GA 在阵列天线波束赋形中的应用[J]. 西安电子科技大学学报. 2006,33(5): 797~780
- [6] Weile D S, Michielssen E. Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: a review [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1997, 45(3): 343~353
- [7] 杨丽娜,丁君,郭陈江,许家栋. 基于遗传算法的阵列天线方向图综合[J]. 微波学报,2005,21(2): 39~41
- [8] 张浩斌,杜建春,聂在平. 稀疏阵列天线综合的遗传算法优化[J]. 微波学报. 2006, 22(6): 58~62
- [9] 刘源,邓维波,许荣庆. 应用遗传算法进行阵列天线综合[J]. 电子科学信息学报. 2004,26(3): 400~404
- [10] 范瑜,金荣洪,刘波,耿军平. 阵列天线方向图综合中的遗传算法目标函数研究[J]. 电子与信息学报. 2005,27(5): 801~804
- [11] 焦永昌,杨科,陈胜兵,张福顺. 粒子群优化算法用于阵列天线方向图综合设计[J]. 电波科学学报. 2006,21(16): 16~21
- [12] Boeringer D W, Werner D H. Particle swarm optimization versus genetic algorithms for phased array synthesis [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 2004, 52(3): 771~779
- [13] 刘燕,郭陈江,丁君,许家栋. 基于粒子群算法的阵列天线波束赋形[J]. 电子测量与技术. 2007,30(6): 43~45
- [14] 薄亚明. 一种新的天线阵方向性图综合演化算法[J]. 微波学报. 2007,23(5): 1~6

### 作者简介

刘彬 1983 年生,现就读于南京邮电大学通信与信息工程学院电磁场与微波技术专业硕士研究生。研究方向:电磁场问题辅助分析与优化设计。

## Synthesis of Antenna Arrays Using Team Progress Algorithm, Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization

Liu Bin

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract** The team progress algorithm has posed by some researcher recently, which has the search mechanism different from the traditional optimization algorithms. Function tests statistic show that the TPA is a valid optimization algorithm in avoiding premature and the speed of computation, the team progress algorithm, genetic algorithm and particle swarm optimization are applied to the problem of antenna arrays, giving the appropriate designing request. We use Matlab to calculate the antenna arrays. Compared the beam forms attained form team progress al-

(下转第 123 页)

得到了呼叫建立时延和切换处理时延,这是衡量卫星通信系统性能的重要指标。时延仿真包含了传播时延和传输时延,其中,传输时延与信令的长短相关。总的来说,该仿真系统对无星间链路的 LEO 通信系统工程的实现具有重要意义。该平台卫星模块使用较为简单的透明转发方式,在后续的工作中,将增加星上处理和星上交换功能,并结合 LEO 卫星网络的特点,对系统其他功能进行完善。

### 参考文献

- [1] 王平,刘晓峰,顾学迈.基于 OPNET 的 LEO 卫星网络协议仿真平台研究[J].计算机工程与应用.2006,26
- [2] 吴诗其,吴廷勇,卓永宁.卫星通信导论[M].北京:电子工业出版社,2006

- [3] 张蕴玉,胡伟圣,胡修林.基于 OPNET 的卫星网络路由仿真[J].微计算机信息.2007(06)
- [4] 宋娜,刘群基.基于 LEO 的卫星网络仿真平台设计[J].计算机工程与应用.2005,41(4)
- [5] 刘刚,苟定勇,吴诗其.低轨卫星星座网的切换研究[J].通信学报.2004(04)
- [6] 计会凤,徐爱功,隋达宽. Dijkstra 算法的设计与实现[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版).2008(05)

### 作者简介

王学华 1983 出生,电子科技大学硕士研究生。研究方向为卫星通信移动性管理。

朱立东 1968 出生,电子科技大学副教授。研究方向为卫星移动通信和个人通信。

## Design and Simulation of LEO Satellite Communication System Ground Core Network

Wang Xuehua Zhu Lidong

(National Key Laboratory of Communication, University of Electronic Science and Technology of Chian,  
Chengdu 610054, China)

**Abstract** Focusing on non-interstellar link LEO satellite communication systems, OPNET software is used to design the core network in transparent transmit mode and simulations of LEO satellite communication systems are carried out. The constitutions, functions and topologies of the core networks are first introduced and the simulations of call processing and switching are realized, call time - delay, switching time-delay et. al are analyzed. Simulation results provided some references for designing LEO satellite communication system.

**Key words** Satellite communication systems Core network OPNET software

(上接第 80 页)

gorithm with from genetic algorithm and particle swarm optimization, showing that the novel evolutionary algorithm can apply to complex antenna problem, and the superiority in performance of optimization. All these show the a-broad application foreground of novel algorithm in antenna designing.

**Key words** Antenna arrays Beam forms Team progress algorithm Genetic Algorithm Particle swarm optimization

## 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](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>