

交叉粒子群算法及其在天线设计中的应用*

董银丽¹, 张 莉²

(1. 西安欧亚学院, 陕西 西安 710065; 2. 陕西邮电职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

摘要:目的 为了求解解析性质差的复杂优化问题,提出了一种新的交叉粒子群算法。方法 该算法将全局邻域粒子群算法与局部邻域粒子群算法交叉使用,并采用适应度距离比确定局部邻域粒子群算法的速度更新策略。结果 提高了粒子群算法粒子的搜索能力。结论 该算法用来解决六边形阵列天线问题,取得了满意的效果。

关键词:粒子群优化;局部邻域算法;适应度距离比;六边形阵列天线

中图分类号:O221.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1007-1261(2008)03-0199-04

Crossed particle swarm optimization and its application in antenna designing

DONG Yin-li¹, ZHANG Li²

(1. Xi'an Eurasia University, Xi'an 710065, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Post and Telecommunication College, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: **Aim** To deal with the complex optimization problem without good analysis property, a new crossed Particle Swarm Optimization(PSO) algorithm is proposed. **Methods** The new algorithm intersects two different PSO algorithms: global neighbor PSO and local neighbor PSO. The fitness distance ratio(FDR) is selected to update the velocity of the local PSO. **Results** The performance of the particle of PSO is boosted. **Conclusion** The new algorithm is used to design the hexagon antenna array, and obtain some favorable results.

Key words: particle swarm ptimization(PSO); local neighbor PSO; fitness distance ratio(FDR); hexagon antenna array

MSC 2000: 78M50; 80M50

1 引言

20 世纪 90 年代中期, Eberhart 和 Kennedy^[1]受到人工生命研究结果的启发,提出了一种新的群集智能计算技术—粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO),其源于对鸟群和鱼群群体运动行为的研究。粒子群算法是一种模拟大自然进化过程的随机优化算法,与传统优化算法相比较,对目标函数的解析性质要求不高,可以求解许多传统优化算法难以解决的复杂问题。粒子群算法是一种以种群为基础的全局搜索算法,算法以每一个粒子的位置作为解,在速度向量的指导下,飞跃搜索区域,寻找较好的解。速度向量具有随机程度,同时根据

历史纪录中的最优粒子位置和每个粒子的信息进行调解,从而整个种群表现出一定的智能性。

但与其它随机算法一样,粒子群算法也存在参数控制和早熟收敛的问题,而且随着迭代次数的增加,粒子群算法搜索最优解的能力将会大大降低。研究者提出了一些控制参数的改进方案来增强算法逃出局部极小点的能力,同时也提出了随着迭代次数的增加,如何增强算法搜索能力的方案。改进的粒子群优化算法已经成功地用于系统辨识、神经网络、工程优化等领域。本文提出了一种交叉粒子群算法,并用于解决六边形阵列天线问题^[2,3]取得了满意的结果。

* 收稿日期:2008-04-15, 修回日期:2008-05-07, E-mail:sszhou@mail.xidian.edu.cn

作者简介:董银丽(1971-),女,陕西大荔人,硕士,研究方向:最优化理论与算法,粒子群算法及其应用。

2 标准粒子群算法的数学模型

在粒子群优化算法中,种群由 m 个粒子组成。 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 表示第 i 个粒子的位置,每个粒子的位置都代表所求问题的一个候选解,解的好坏由适应度函数值决定。 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 表示粒子 i 的跳跃速度。 $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ 表示第 i 个粒子跳跃过程中所遇到的最好位置。用 g 表示粒子群在前面跳跃过程中获得种群最好位置的粒子, p_g 表示种群最好粒子的位置。每个粒子跳跃的速度和下一次的位置分别由公式(1)和(2)决定^[1,4~6]:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_g(t) - x_i(t)), \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (2)$$

其中 $i = 1, 2, 3, \dots, m$, c_1, c_2 是正的常量,叫做加速常数。 r_1, r_2 是均匀分布在区间 $[0, 1]$ 的随机数, $t = 1, 2, \dots$, 是循环次数。

3 交叉粒子群算法

粒子的新速度通过三部分来计算:从社会学的角度看,第一部分称为记忆项,表示新速度受粒子上次跳跃速度大小和方向的影响;第二部分称为自认知项,是从当前点指向此粒子自身最好点的一个矢量,表示粒子的动作来源于自己经验的部分;公式的第三部分称为群体认知项,是一个从当前点指向种群最好点的一个矢量,反映了粒子间的协同合作和知识的共享。在第三部分中,如果是当前点指向种群最好点的矢量,这种粒子群算法也称为全局邻域结构的粒子群算法(GPSO);若采用从当前点指向邻域最好点的矢量,这种粒子群算法称为局部邻域结构的粒子群算法(LPSO)。全局邻域结构的粒子群算法能更快的收敛到一个最优值,但缺点就是可能会陷入局部极小点。而局部邻域结构的粒子群算法能够飞在局部极小点周围,子种群探索不同区域,所以不易陷入局部极小点,但是收敛速度很慢。

本文提出的算法将全局邻域结构的粒子群算法和局部邻域结构的粒子群算法交叉使用。在局部邻域结构的粒子群算法中每个粒子速度更新不只考虑他自己所经历的最好位置和整个种群所经历的最好位置,而且考虑它邻域中粒子对它的影响,速度更新方程变化为:

$$v_i(t+1) = \omega \cdot v_i(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_g(t) - x_i(t)) + c_3 \cdot r_3 \cdot (p_n(t) - x_i(t)), \quad (3)$$

其中 p_n 的每一维取自于不同的粒子。 p_n 的第 d 维选择满足下式的粒子的第 d 维:

$$\max_j \frac{\text{Fitness}(p_j) - \text{Fitness}(x_i)}{|p_{jd} - x_{id}| + 1}, \quad (4)$$

$|p_{jd} - x_{id}|$ 表示绝对值,(4)式被称为适应度距离比(简称为 FDR)。这个粒子应该满足两个条件:一是它必须邻近被更新的粒子;二是他自己所经历的最好位置 p_i 应该比被更新粒子当前的适应度好。因此,在算法中粒子速度的每一维不是沿着同一方向进行更新的。

如果不限定粒子的位置,粒子群将会飞出搜索区域,产生无效解。一般采用编码方法限定粒子在搜索区域内,但这些方法将产生额外的计算量,例如,核对边界和丢弃无效的个体。本文通过增加新参数即运动参数在位置更新方程,用于控制粒子在搜索区域内,不用每一次循环都核对边界;位置更新将按照下式更新:

$$x_i(t+1) = (1 - m_c) \cdot x_i(t) + m_c \cdot v_i(t+1), \quad (5)$$

其中 m_c 是动力参数($0 < m_c < 1$)。

交叉并行粒子群算法^[6]

step 0: 定义适应度函数 $f(x)$, 设置参数 $\omega, c_1, c_2, c_3, r_1, r_2, r_3, m_c$, 最大迭代次数 T ;

step 1: 种群规模设为 m , 随机在可行域里产生初始种群 $p(0)$ 和初始速度 $v(0)$, 令 $t = 0$;

step 2: 求 $p(t)$ 中最好的点 $p_g(t)$, 求 $p(t)$ 中第 i 个粒子的最好点 $p_i(t), i = 1, 2, \dots, m$;

step 3: 更新参数值:

$$\omega(t) = \frac{(\omega^0 - 0.4)(T - t)}{(T + 0.4)},$$

$$c_1(t) = c_1^0 + (c_1^0 - c_1^\infty) \times \left[1 - \frac{t}{T}\right],$$

$$c_2(t) = c_2^0 + (c_2^0 - c_2^\infty) \times \left[1 - \frac{t}{T}\right];$$

step 4: 按照公式(6)和(7)更新 $p(t)$ 每个粒子的速度 $v_i(t)$ 和位置 $x_i(t)$, 得到新种群 $p(t)$ 以及其中的每个粒子 i 的新速度 $v_{1i}(t)$ 和新位置 $x_{1i}(t), i = 1, 2, \dots, m$; 并依据计算结果更新 $p_i(t)$ 和 $p_g(t)$;

$$v_{1i}(t) = \omega(t)v_i(t) + c_1(t) \cdot r_1 \cdot (p_i(t) - x_i(t)) + c_2(t) \cdot r_2 \cdot (p_g(t) - x_i(t)), \quad (6)$$

$$x_{1i}(t) = (1 - m_c) \cdot x_i(t) + m_c \cdot v_{1i}(t); \quad (7)$$

step 5: 求 $p(t)$ 中的最好点 $p_g(t)$ 和 $p(t)$ 中第 i 个粒子的最好点 $p_i(t), i = 1, 2, \dots, m$;

step 6: 按照公式(8)和(9)更新 $p(t)$ 中每个粒子的速度 $v_{1i}(t)$ 和位置 $x_{1i}(t)$, 得到新种群 $p(t+1)$ 和其中的每个粒子 i 的新速度 $v_i(t+1)$ 和新位置 $x_i(t+1), i = 1, 2, \dots, m$, 其中 $p_n(t)$ 由公式(4)得到;

$$v_i(t+1) = \omega \cdot v_{1i}(t) + c_1(t) \cdot r_1 \cdot (p_i(t) - x_{1i}(t)) + c_2(t) \cdot r_2 \cdot (p_g(t) - x_{1i}(t)) + c_3(t) \cdot r_3 \cdot (p_n(t) - x_{1i}(t)), \quad (8)$$

$$x_i(t+1) = (1-m_t) \cdot x_{i1}(t) + m_t \cdot v_i(t+1); \quad (9)$$

step 7: 满足终止条件 $t = T$, 则停; 否则, $t = t+1$, 转 step 2。

4 交叉粒子群算法在六边形阵列天线中的应用

阵列天线已经广泛的应用于雷达定位系统、人造卫星的通讯以及其他领域。为了提高阵列天线的抗干扰和噪音的能力, 阵列天线的方向图应当具有较低的副瓣, 且关于方位角对称。根据系统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。阵列天线综合可表示为一个复杂的非线性优化问题^[2,3]。

在图1所示的周期阵列中, 阵元分布在二维平面上, 且沿非正交斜坐标 η_1, η_2 排列成周期栅格。设 η_1 轴与 x 轴重合, 而 η_2 轴与 x 轴成 α 角, 阵元的位置 $\rho_{p,q}$ 由参数 (p, q) (为图1中的单元标号) 确定:

$$\rho_{p,q} = pb_1\eta_1 + qb_2\eta_2, \quad (10)$$

式中 η_1, η_2 是沿轴 η_1, η_2 的单位矢量, b_1 和 b_2 是沿 η_1, η_2 的二维栅格的基本周期, $b_1 = b_2$ 。阵列的激励是线性相位渐变的, 于是第 (p, q) 阵元波程相位差可写为:

$$\delta_{p,q}(\theta, \varphi) = p\delta_a(\theta, \varphi) + q\delta_b(\theta, \varphi), \quad (11)$$

其中 δ_a, δ_b 为在 η_1, η_2 方向上相邻阵元之间的增量相位差,

$$\begin{aligned} \delta_a(\theta, \varphi) &= 2\pi/\lambda \cdot b_1 \cos\varphi \sin\theta \\ \delta_b(\theta, \varphi) &= 2\pi/\lambda \cdot b_2 \cos(\pi/3 - \varphi) \sin\theta \end{aligned} \quad (12)$$

当波束扫描至 (α, β) 时, 第 (p, q) 阵元的阵内相位差为 $\delta_{p,q}(\alpha, \beta)$ 。综合设计中, 要求优化单元的激励幅度和相位, 喇叭口径, 圆环半径以及各个单元在所属角域内的最佳位置, 同时还需要考虑工程可实现性。单元之间、环与环之间的间距要大于两倍的馈源喇叭的半径, 这一条件作为优化模型中的约束条件。

设单元喇叭口面半径为 r_1 , 喇叭长度为 R , 单元间距为 $b = b_1 = b_2$, 单元喇叭的方向图为 $f(\theta, \varphi)$, 则阵列天线的方向图可表示为:

$$E(x, \theta, \varphi) = \left\{ \sum_{p=-N_1}^0 \sum_{q=-N_1-p}^{N_1} + \sum_{p=1}^{N_1} \sum_{q=-N_1}^{N_1-p} \right\} I_{p,q} e^{j\delta_{p,q}} e^{j\delta_{p,q}(\theta, \varphi)} f(\theta, \varphi), \quad (13)$$

其中 $I_{p,q} e^{j\delta_{p,q}}$ 是第 (p, q) 个单元的归一化复加权。在上式中 $N_1 = 1$ 是阵列同心环的个数。研究如图1所示的 $N = 7$ 元正六边形阵列。在天线设计中, 把单元的激励幅度和相位、馈源喇叭半径以及单元之间的间距作为设计变量。优化变量 x 可以表示为:

$$x = (I_{-1,1}, I_{-1,0}, I_{0,1}, I_{0,-1}, I_{0,0}, I_{1,0}, I_{1,-1}, a_{-1,1}, a_{-1,0}, a_{0,1}, a_{0,-1}, a_{0,0}, a_{1,0}, a_{1,-1}, b, r_1)^T. \quad (14)$$

假设预先给定的理想方向图用 $A(\theta)$ 来表示, 它不随角 φ 变化。为简单起见, 把角域 $\theta \in [-\pi/2, \pi/2], \varphi \in [0, 2\pi]$ 离散化, 取 $M_1 \times M_2$ 个均匀离散点 $\theta_i \in [-\pi/2, \pi/2], \varphi_j \in [0, 2\pi]$:

$$\theta_i = -\pi/2 + (i-1)\pi/(M_1-1), \quad i = 1, 2, \dots, M_1;$$

$$\varphi_j = 2(j-1)\pi/(M_2-1), \quad j = 1, 2, \dots, M_2$$

优化目标函数 $F(x)$ 如下式所示:

$$F(x) = \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} |E(x, \theta_i, \varphi_j) - A(\theta_i)|^2, \quad (15)$$

考虑到设计中变量应满足的上、下界约束条件, 阵列综合设计的优化模型可表示为:

$$\begin{cases} \min F(x) \\ s. t. \quad 0 \leq I_{p,q} \leq 1, 0 \leq a_{p,q} \leq 2\pi, 2r_1 < b \end{cases} \quad (16)$$

7元六边形阵列的理想方向图为:

$$A(\theta) = \cos^{18}\theta \quad (-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ).$$

本节采用交叉粒子群优化算法来解决图1所示的具有7个单元的六边形阵列天线问题。针对 H 面进行设计, 即 $\varphi = 0 (M_2 = 1)$ 。用以比较交叉粒子群算法和标准 PSO 算法的性能差异, 其中数据维数是16, 粒子个数设为40, 迭代次数200。迭代过程示意图如图2所示。

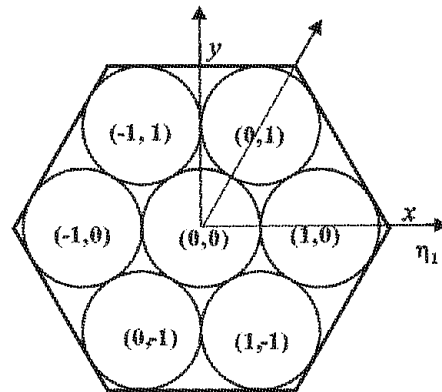


图1 7个单元的六边形阵列

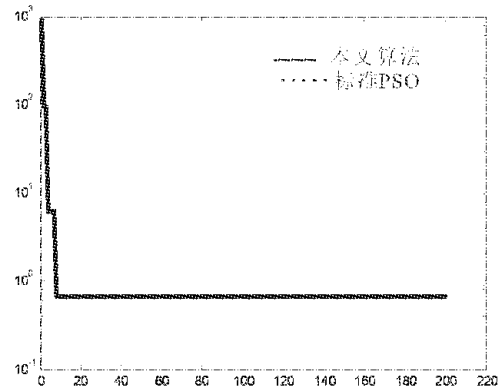


图2 天线设计实验的收敛过程示意图

由于有限的粒子个数相对于整个搜索空间来讲是很少的, 为了得到更精确的解, 用交叉粒子群算法

得到的结果再进行局部搜索(采用 Nelder—Mead 直接搜索算法^[7]),得到更好的结果。图 3 是所得结果和目标曲线 $A(\theta) = \cos^{18}(\theta)$ 的比较结果比较,其中最优参数分别为:

$I = (1.000\ 0, 0.064\ 9, 0.062\ 9, 0.412\ 2, 0.456\ 4, 0.675\ 0, 0.350\ 4);$

$a = (-0.005\ 0, -0.000\ 7, -0.006\ 3, 0.002\ 2, -0.001\ 8, 0.003\ 3, 0.004\ 4);$

$b = 1.260\ 0\lambda; r_1 = 0.629\ 9\lambda。$

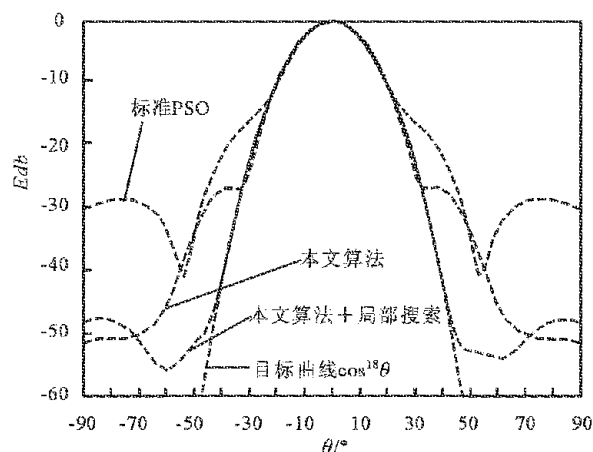


图3 天线设计实验的效果比较图

5 小结

本文提出的算法较标准 PSO 性能有较大提升,并具有以下优点:在位置更新方程中增加动力参数,可限制粒子在搜索区域内;采用减少速度更新的策略,尽可能减少速度更新的次数,这样就给粒子提供了足够的发展空间,减少了对粒子的扰乱;算法既考虑全局信息,又考虑局部信息,使搜索到的解质量更好,对多极值函数有更好的搜索能力。但由于交叉粒子群算法需要计算适应度距离比,故所需时间较长,降低迭代时间是进一步要做的工作。

参考文献:

- [1] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]. Proc 6th Int Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, 1995;39-43.
- [2] BALANIS C A. Antenna Theory: Analysis and Design[M]. Second Edition. New York: John Wiley and Sons, 1997; 309-337.
- [3] WEI W Y, GONG D M, Chen B S. Antenna Theory[M]. Xi'an: The Publishing House of Xidian University, 1985.
- [4] CLERC M, KENNEDY J. The particle swarm explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space[J]. IEEE Transaction on

Evolutionary Computation, 2002, 6(1):58-74.

- [5] LIU Yu, QIN Zheng, HE Xing-shi. Supervisor—student model in particle swarm optimization[C]. Proceeding of the 2004 Congress on Evolutionary Computation, USA, 2004;542-547.
- [6] 董银丽. 一种新的交叉粒子群算法[D]. 西安:西安电子科技大学, 2006.
- [7] LAGARIAS J C, REEDS J A, WRIGHT M H, et al. Convergence properties of the nelder-mead simplex method in low dimensions, SIAM Journal of Optimization, 1998,9(1):112-147.

(编校:李哲峰)

(上接第 198 页)

改进灰色预测模型的一步预测误差约为传统 GM(1,1) 模型的 64.13%, 两步预测误差约为传统 GM(1,1) 模型的 60.12%。

综合(1)、(2) 比较分析的结果可以看出,对我国 1996 ~ 2003 年农村居民家庭人均纯收入的算例而言,本文提出的 3 种改进的灰色预测模型的平均相对误差和一步、两步预测误差均优于传统 GM(1,1) 模型,但线性函数 $f = px^{(0)}(k) + q$ 变换法建立的非齐次指数模型的预测精度更高,可以在实际中加以推广应用。

参考文献:

- [1] 宋中民,同小军,肖新平. 中心逼近式灰色 GM(1,1) 模型[J]. 系统工程理论与实践, 2001,21(5):110-113.
- [2] 王义阂,刘开第,李应川. 优化灰导数白化值的 GM(1,1)建模方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001,21(5):124-128.
- [3] 杨保华,张忠泉. 倒数累加生成灰色 GOM(1,1)模型及其应用[J]. 数学的实践与认识, 2003,33(10):21-26.
- [4] 李群. 灰色预测模型的进一步推广[J]. 系统工程理论与实践, 1993,13(1):64-66.
- [5] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002.
- [6] 闵涛,周孝德,冯民汉. 河流水质多参数识别反问题的演化算法[J]. 水利学报, 2003,(10):119-123.
- [7] 王小平,曹立明. 遗传算法[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.
- [8] 王沫然. MATLAB6.0 与科学计算[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [9] 吉培荣,黄巍松,胡翔勇. 灰色预测模型特性的研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001,21(9):105-108, 139.

(编校:李哲峰)

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>