

基于 PSO-PTS 算法的 E 形双频微带天线设计

邸朝生¹, 朱人杰², 曲仁慧³

(1. 吉林长邮通信建设有限公司, 长春 130012; 2. 山东邮电规划设计院有限公司, 济南 250031;
3. 吉林大学 通信工程学院, 长春 130012)

摘要: 为了能处理复杂的电磁优化问题, 从粒子群优化算法 (PSO: Particle Swarm Optimization) 的原理出发, 通过对算法收敛性以及算法局限性的分析, 改进了粒子群的性能, 并结合参数跟踪策略 (PTS: Parameters Tracking Strategies) 及动态搜索域形成一种新的混合算法——PSO-PTS 混合算法。给出了 PSO-PTS 混合算法的基本理论、数学模型和步骤, 并利用该方法对 E 形双频微带天线进行了模拟实验。仿真结果表明, 该方法可有效地缩小 PSO 算法搜索区域, 保证了解的单一性, 提高了运算速度和解的精度。利用该方法设计的天线可有效地实现小型化的要求。

关键词: 粒子群优化算法; 参数跟踪; 微带天线; 双频

中图分类号: TN82

文献标识码: A

Design of E-Shaped Dual-Frequency Microstrip Antenna Based on PSO-PTS Algorithm

DI Chao-sheng¹, ZHU Ren-jie², QU Ren-Hui³

(1. Jilin Changyou Communications Construction Limited Liability Company, Changchun 130012, China;
2. Shandong Post and Telecommunications Planning and Designing Institute Limited Liability Company, Jinan 250031, China;
3. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In order to deal with the optimization of complex electromagnetic problems, beginning with the theory of particle swarm optimization, by analyzing the convergence of the algorithm and its limitations, the performance of PSO (Particle Swarm Optimization) was improved, parameters tracking was combined, and PSO-PTS (Particle Swarm Optimization Parameters Tracking Strategies) hybrid algorithm was proposed. The method can effectively reduce the search region of PSO algorithm, ensure the uniformity of solution, enhance the computing speed and the accuracy of solution. Basic theory, math model and predict step of the algorithm was introduced. E-shaped dual-frequency microstrip antenna by using PSO-PTS hybrid algorithm was simulated. The results show that the antenna designed by this method can sufficiently realize the demand of miniaturization.

Key words: particle swarm optimization; parameters tracking; microstrip antenna; dual-frequency

引 言

近年来, 由于通信系统向着大容量、多功能和智能化的趋势发展, 微带天线的双频设计引起了人们很大兴趣。微带天线的许多优点, 如体积小、重量轻、剖面薄、易共形、易集成以及低成本等, 使微带天线得到了广泛的应用^[1]。因此研究高性能的微带天线是一项很有意义的工作。双频贴片天线^[2]是指具有两个谐振频率的贴片天线, 它具有贴片天线的一些优越性。除在重量、空间以及费用上的优势外,

收稿日期: 2009-06-02

作者简介: 邸朝生 (1955—), 男, 吉林榆树人, 吉林长邮通信建设有限公司高级工程师, 主要从事通信工程研究 (Tel) 86-13304308279, (E-mail) dichaozheng@163.com。

双频段贴片天线还能保证收/发信道的分离和匹配。随着微波集成技术的发展和空间技术对低剖面天线的迫切需求,以及无线通讯技术要求收发设备可同时在两个或多个频段工作,微带天线双频段技术也得到了迅速发展。今后随着现代通信的飞速发展,宽频带和双频带微带天线逐渐成为需求的一个趋势^[3]。

粒子群优化算法(PSO: Particle Swarm Optimization)是基于群体智能的进化计算(Evolutionary Computation)技术,其思想来源于人工生命和进化计算理论,最早是由 Kennedy 等教授^[4]受鸟群觅食行为的启发提出的。PSO 算法采用实数求解,并且需要调整的参数较少,易于实现,是一种通用的全局搜索算法。因此,算法一提出就得到众多学者的重视,并已经在神经网络训练、函数优化和模糊系统控制等领域取得了大量的研究成果。PSO 算法是一个非常有前景的工具,已成功应用在多个实用领域,也必将在复杂电磁优化问题中显示出巨大的潜力。

笔者针对标准 PSO 算法自身存在的局限性,对 PSO 算法进行了改进^[5],加入了自适应变异算子,用自适应变异的 PSO 算法与参数跟踪策略相结合形成一种新的混合算法(PSO-PTS: Particle Swarm Optimization Parameters Tracking Strategies),并将之应用于 E 形双频微带天线的设计中。

1 标准 PSO 算法

PSO 算法模拟鸟群的捕食行为。设想这样一个场景:一群鸟在随机搜索食物。在这个区域里只有一块食物,所有的鸟都不知道食物在哪里,但他们知道当前的位置离食物还有多远。找到食物最简单有效的方法就是搜寻目前离食物最近的鸟的周围区域。PSO 从这种模型中得到启示并用于解决优化问题。PSO 中每个优化问题的解都是搜索空间中的一只鸟,称之为“粒子”。所有粒子都有一个由被优化函数决定的适应值(候选解)和一个决定其飞翔方向与距离的速度。在优化过程中,每个粒子记忆、追随当前的最优粒子,在解空间中进行搜索。PSO 算法初始化为一群随机粒子(随机候选解),然后通过迭代找到最优解。在每次迭代过程中,粒子通过追逐两个极值更新自己的位置:一是粒子自身所找到的当前最优解,称为个体极值 p ;另一个是整个群体当前找到的最优解,称为全局极值 g ^[6]。

粒子在找到上述两个极值后,根据公式

$$v_{i,d}^{k+1} = v_{i,d}^k + c_1 r() (p_{i,d}^k - x_{i,d}^k) + c_2 r() (g_d^k - x_{i,d}^k) \quad (1)$$

$$x_{i,d}^{k+1} = x_{i,d}^k + v_{i,d}^{k+1} \quad (2)$$

更新自己的速度与位置。其中 c_1 和 c_2 为学习因子, $r()$ 为介于 (0, 1) 区间的随机数, $v_{i,d}^k$ 和 $x_{i,d}^k$ 分别为粒子 i 在第 k 次迭代中第 d 维的速度和位置,两者均被限制在一定的范围内, $p_{i,d}^k$ 是粒子 i 在第 d 维的个体极值的位置, g_d^k 是群体在第 d 维的全局极值的位置。

为了更好地控制粒子群算法的开发和探测能力,文献 [7] 将惯性权重 ω 引入式(1)中,形成现在标准的 PSO 算法,即

$$v_{i,d}^{k+1} = \omega v_{i,d}^k + c_1 r() (p_{i,d}^k - x_{i,d}^k) + c_2 r() (g_d^k - x_{i,d}^k) \quad (3)$$

通过实验研究了惯性权重 ω 对算法性能的影响,发现较大的 ω 值有利于跳出局部最优,进行全局寻优;而较小的 ω 值有利于局部寻优,加速算法收敛。

2 PSO-PTS 混合算法

自适应变异的 PSO 算法是在 PSO 算法中增加了随机变异算子,考察群体适应度方差反应算法是否陷入早熟收敛,并通过全局极值的随机变异提高 PSO 算法跳出局部最优解的能力^[8,9]。

在 PSO-PTS 算法实现过程中,在 PSO 算法中加入基于群体适应度方差的自适应变异操作,以增加群体多样性,有效地避免算法陷入早熟收敛;使用参数跟踪策略有效地缩小 PSO 算法搜索区域,保证解的单一性,提高了运算速度;使用动态搜索域提高解的精度,并使运算速度得以进一步提高。

PSO 算法结合变参数跟踪策略的混合算法(PSO-PTS)基本思想可简述如下。

1) 在方程 $F(x_1, x_2, x_3, \dots, t) = 0$ 中,选择或添加参数 t (如果函数中原来没有这样的参数,人为地在适当地方加上),使当 $t = t_0$ 时,函数能找到确定的根 x_1, x_2, x_3, \dots ^[10]。

2) 逐步小跨度地改变 t 到指定值 t_d , 在每次小跳变中均应用 PSO 算法求出新的根, 直到求得指定解。由于物理量的连续性, 变参数过程中的搜索域范围可以限制得很小, 使算法稳定。

3) 如果再应用差商公式, 还可以在每步跳变后准确预估出根的大致位置, 使运算速度加快, 并改善收敛性。

PSO-PTS 混合算法的程序流程图如图 1 所示。

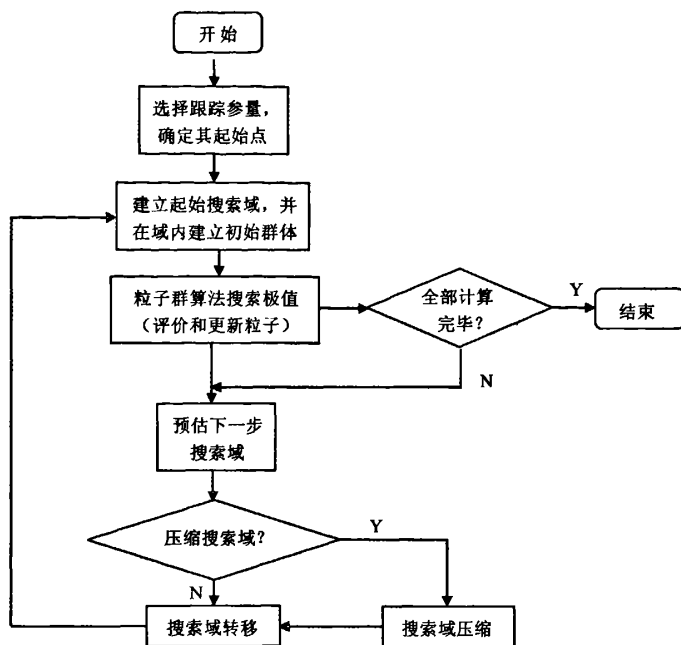


图 1 PSO-PTS 混合算法流程图

Fig. 1 Flow chart of PSO-PTS hybrid algorithm

3 E 形双频微带天线的优化设计

现代移动通信系统已经包含 1 710 ~ 1 880 MHz 的 DCS (Digital Communication System) 频段和 2 400 ~ 2 483 MHz 的 WLAN (Wireless Local Area Networks) 频段^[11]。图 2 是通过天线仿真软件 HFSS (High Frequency Structure) 10^[12] 仿真出来的一种新型天线, 形状类似一个大写字母 E, 所以这种天线叫做 E 型天线^[13], 可实现同时覆盖数字通信系统 (1.71 ~ 1.88 GHz) 和无线局域网 (2.40 ~ 2.48 GHz) 频段的双频基站天线。天线模型的最外层的立方体为辐射窗, 其介质定义为空气, 仿真现实中天线在空气中的环境; 金属贴片和金属地板都做了透明处理, 可以看出 SMA-50Ω 转接器和探针的基本形状; 激励选 SMA-50Ω 转接器的底面上, 其输入阻抗设为 50 Ω。天线的接地板 (铜) 的尺寸 $W_g \times L_g = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, 空气介质层厚度 $h = 15 \text{ mm}$ (馈电探针的高度), 天线位于接地板的

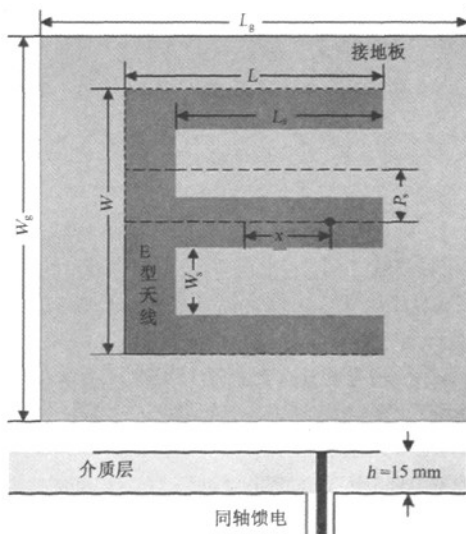


图 2 E 型贴片微带天线的结构

Fig. 2 E-slot microstrip patch antenna structure

中心位置。实际的贴片天线通过泡沫支撑柱和泡沫支撑板将其贴片支撑起来。

贴片天线有 6 个几何参数,包括贴片的长度 L ,贴片的宽度 W ,开槽的长度 L_s ,开槽的宽度 W_s ,开槽的位置 P_s 和馈电位置 x 。为了设计一个双频带共振频率为 1.8 GHz 和 2.4 GHz 的天线,以上数据均需要优化。

几何参数(单位:mm)的优化范围分别为

$$L \in (30,96); \quad W \in (30,96); \quad L_s \in (0,96)$$

$$W_s \in (0,96); \quad P_s \in (0,96); \quad x \in (-48,48)$$

对每个参数的设计,E型贴片天线为保持理想的双频带性能需要满足以下不等式

$$L_s < L; \quad P_s > \frac{W_s}{2}; \quad P_s + \frac{W_s}{2} < \frac{W}{2}; \quad |x| < \frac{L}{2}$$

E型贴片天线是在一般微带天线的基础上,沿天线的匹配方向将金属贴片掏出两条平行宽缝,即通过这两条平行宽缝使天线等效成两个 LC 谐振回路。天线的馈电探针直接接在贴片上,介质层采用空气,激励源采用同轴 SMA-50Ω 转接器。目前人们利用 PSO 算法和时域有限差分法相结合的方法初步优化出这 6 个参数的具体设计尺寸(单位:mm)为

$$L = 54.0; \quad W = 46.0; \quad L_s = 47.0; \quad W_s = 20.0; \quad P_s = 12.0; \quad x = 14.0$$

使用 PSO-PTS 混合算法优化设计微带天线尺寸的设计思想就是充分发挥参数跟踪策略的优势,用参数跟踪策略限定并跟踪 PSO 算法的搜索,在已有结果的基础上,以其为搜索中心,再进行小范围的搜索,发挥到优中取优的效果。具体步骤如下:

1) 在原有优化结果的基础上,以其为参数跟踪策略的起点,限定搜索中心点和搜索区域,为了增加 PSO 算法的多样性,笔者给每个参数至少选定 3% 的变化量作为搜索区域;

2) 在参数跟踪策略的限定和监督下,在搜索区域内用带有混沌变量的 PSO 算法进行优化搜索;

3) 微带天线的回波损耗 S_{11} 参数直接影响着微带天线的性能,回波损耗越小,天线的性能越好,笔者选用 S_{11} 参数作为 PSO 算法的适应度函数,用 Ansoft HFSS 仿真软件对优化结果进行仿真,得出回波损耗 S_{11} 参数,使用 $F_{\text{fitness}} = 50 + \max(S_{11,1.8 \text{ GHz}, 2.4 \text{ GHz}})$ 确定适应值,确定参数跟踪策略的下一次搜索中心,为下一代的进化搜索指明方向。

4 试验结果分析

经过 PSO-PTS 混合算法的优化演算,在第 17 代时出现了一个最优值,优化的 6 个参数的设计尺寸为

$$L = 53.67; \quad W = 45.33; \quad L_s = 47.5; \quad W_s = 19.95; \quad P_s = 12.19; \quad x = 14.1$$

不难看出 E 型天线的总体尺寸 $L \times W$ 比原有结果要小得多,实现了微带天线的小型化设计要求,并且中间切除的小矩形框尺寸 $L_s \times W_s$ 比原有结果大,减轻了微带天线的重量,从而实现了微带天线轻重量的设计要求。

图 3 是 PSO-PTS 混合算法优化出的组合尺寸用 Ansoft HFSS 10.0 仿真软件仿真的 S_{11} 结果与文献 [13] 中组合尺寸仿真的结果比较图。

从图 3 中可看出,这种结构的天线一个谐振峰出现在 DCS 系统 1.71 ~ 1.88 GHz 频段,而另一个谐振峰出现在更高的 WLAN 系统 2.40 ~ 2.48 GHz 频段。

为能清楚地说明结果,表 1 列出了两个谐振峰谐振频率点的回波损耗 S_{11} 结果值,以及两个谐振峰的带宽范围。从优化结果分析如下。

1) 在 DCS 系统 (1.71 ~ 1.88 GHz) 频段上,文献 [13] 尺寸仿真结果在 1.8 GHz 时的回波损耗 S_{11} 是 -18.5 dB,且满足 S_{11} 低于 -10 dB 的频带是 1.76 ~ 1.87 GHz,则带宽是 110 MHz;而用 PSO-PTS 混合算法优化的组合尺寸在 1.8 GHz 时的回波损耗 S_{11} 为 -20.33 dB,满足 S_{11} 低于 -10 dB 的频带是 1.76 ~ 1.88 GHz,则带宽是 120 MHz,即用笔者方法优化的尺寸使天线在 DCS 系统频段上,不仅在谐振频率 1.8 GHz 时的回波损耗明显变小,且带宽也变得更宽了。

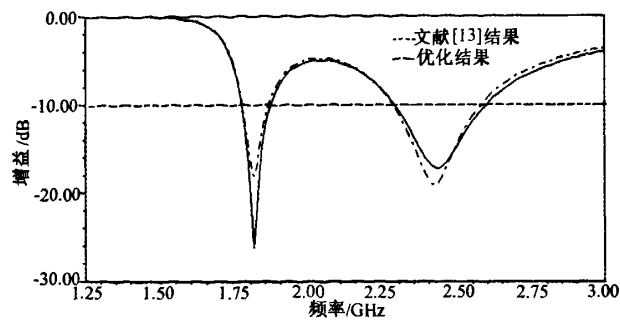


图3 优化结果 S_{11} 比较图

Fig. 3 Comparison of optimized S_{11}

2) WLAN 系统 (2.40~2.48 GHz) 频段上,在谐振频率点 2.4 GHz 时,文献 [13] 中 S_{11} 结果是 -19.4 GHz,满足 S_{11} 低于 -10 dB 的频带是 2.29~2.56 GHz,则带宽是 270 MHz;用 PSO-PTS 混合算法优化的 S_{11} 结果是 -17.52 dB,满足 S_{11} 低于 -10 dB 的频带是 2.29~2.58 GHz,则带宽是 290 MHz。从结果上看,虽然用 PSO-PTS 混合算法的优化结果在谐振频率点 2.4 GHz 时的回波损耗 S_{11} 略有增加,但也满足了 S_{11} 低于 -15 dB 的要求,且带宽比文献 [13] 结果加宽了 20 MHz。

表1 DCS 系统和 WLAN 系统参数结果

Tab. 1 S_{11} of DCS system and WLAN system

	DCS 系统 (1.71~1.88 GHz)		WLAN 系统 (2.40~2.48 GHz)	
	中心频率 (1.8 GHz)		中心频率 (2.4 GHz)	
	S_{11} /dB	带宽/GHz	S_{11} /dB	带宽/GHz
文献 [13] 结果	-18.5	1.76~1.87	-19.4	2.29~2.56
笔者结果	-20.33	1.76~1.88	-17.52	2.29~2.58

图4和图5给出了E型天线在DCS系统波段E面和H面辐射方向图。由E面辐射方向图中看出,文献 [13] 的优化尺寸得到天线最大增益是 8.12 dB,而笔者优化结果是 8.40 dB,最大增益略有增加,且可以看到增益曲线都在文献 [13] 结果之上,即 Theta 在 $[-90, 90]$ 之间天线的增益都有所增加,天线性能有所改善。从天线H面辐射方向图整体上看,天线在H面上的最大辐射增益文献 [13] 结果

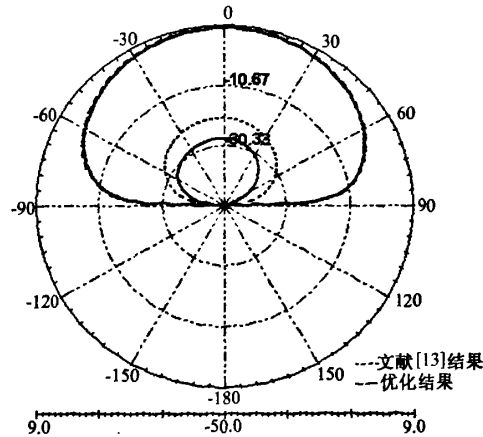


图4 1.8 GHz E 面天线辐射方向图

Fig. 4 Pattern in E-plane at 1.8 GHz

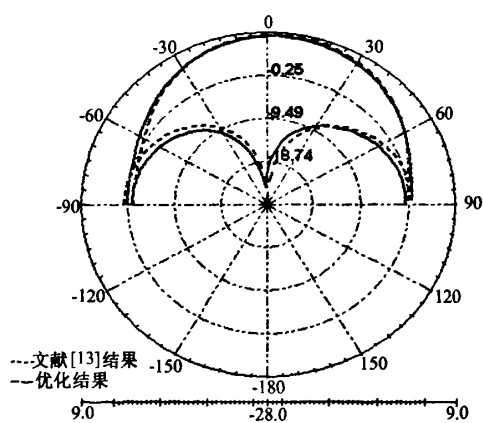


图5 1.8 GHz H 面天线辐射方向图

Fig. 5 Pattern in H-plane at 1.8 GHz

是 8.17 dB, 优化后的结果是 8.50 dB, 最大增益变大了。

图 6 和图 7 分别给出了 E 型天线在 WLAN 系统波段 E 面和 H 面辐射方向图。由 E 面辐射方向图中看出, 文献 [13] 的优化尺寸得到天线最大增益是 6.01 dB, 而笔者优化结果是 6.18 dB, 最大增益也略有增加, 天线性能有所改善。从天线 H 面辐射方向图整体上看, 天线在 H 面上的最大辐射增益文献 [13] 结果是 6.22 dB, 优化后的结果是 6.37 dB, 最大增益稍有增加。

图 4 为天线在 1.8 GHz 时的 E 面方向图, 可以看出, 优化结果的共极化和文献的共极化基本相同, 但优化结果的交叉极化明显优于文献 [13] 的交叉极化; 图 5 为天线在 1.8 GHz 时的 H 面方向图, 同样地, 优化的结果仍有少许的改善。图 6 为天线在 2.4 GHz 时的 E 面方向图, 从图 6 中可以看出, 优化尺寸和文献 [13] 尺寸天线的交叉极化和共极化基本一致; 图 7 为天线在 2.4 GHz 时的 H 面方向图, 两种结果基本处于同一水平。

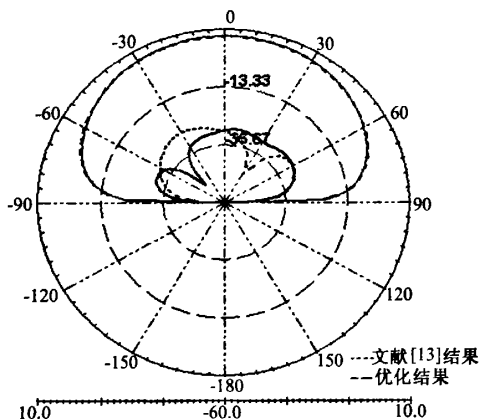


图 6 2.4 GHz E 面天线辐射方向图

Fig. 6 Pattern in E-plane at 2.4 GHz

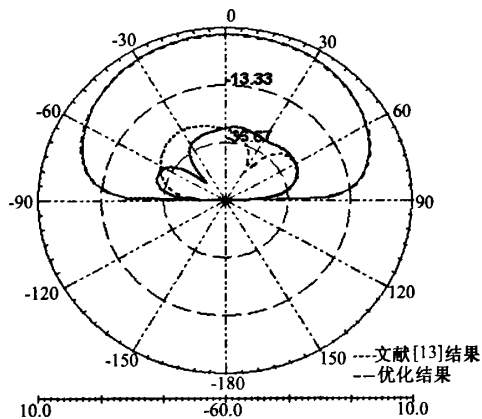


图 7 2.4 GHz H 面天线辐射方向图

Fig. 7 Pattern in H-plane at 2.4 GHz

5 结 语

综上所述, PSO-PTS 混合算法不仅可成功地应用于微带天线的设计领域^[14], 且用 PSO-PTS 混合算法优化出的尺寸在保持天线性能的同时, 使天线总体尺寸变小, 并减轻了天线重量, 达到了天线小型化和轻量化的实用要求^[15]。

参考文献:

- [1] 朱守正, 安同一. 天线理论与设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 197-211.
ZHU Shou-zheng, AN Tong-yi. Antenna Theory and Design [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2006: 197-211.
- [2] 金荣洪, 耿军平, 范瑜. 无线通信中的智能天线 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006: 121-129.
JIN Rong-hong, GENG Jun-ping, FAN Yu. Smart Antennas in Wireless Communications [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2006: 121-129.
- [3] 章文勋. 世纪之交的天线技术 [J]. 电波科学学报, 2000, 15 (1): 97-100.
ZHANG Wen-xun. Antenna Technology in Turn of The Century [J]. Journal of Radio Science, 2000, 15 (1): 97-100.
- [4] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle Swarm Optimization [C] // IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, Perth, WA, Australia: IEEE Press, 1995: 1942-1948.
- [5] SHI Y, EBERHART R. A Modified Particle Swarm Optimizer [C] // IEEE World Congress on Computational Intelligence. Anchorage, AK, USA: IEEE Press, 1998: 69-73.
- [6] SHI Y, EMPICAL R C. Study of Particle Swarm Optimization [C] // The 1999 Congress on Evolutionary Computation. Washington, DC, USA: IEEE Press, 1999: 1945-1950.

- [7] 田雨波, 朱人杰, 薛全祥. 粒子群优化算法中惯性权重的研究进展 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (23): 39-41.
- TIAN Yu-bo, ZHU Ren-jie, XUE Quan-xiang. Research Advances on Inertia Weight in Particle Swarm Optimization [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44 (23): 39-41.
- [8] RATNAWEERE A, HALGAMUGE S K, WATSON H C. Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimizer with Time-Varying Acceleration Coefficients [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8 (3): 240-255.
- [9] 吕振肃, 侯志荣. 自适应变异的粒子群优化算法 [J]. 电子学报, 2004, 32 (3): 416-419.
- LÜ Zhen-su, HOU Zhi-rong. Adaptive Mutation Particle Swarm Optimization Algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32 (3): 416-419.
- [10] PARSOPOULOS K E, VRAHATIS M N. Investigating the Existence of Function Roots Using Particle Swarm Optimization [C] // Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 1448-1455.
- [11] 陈胜兵, 焦永昌, 张福顺, 等. 蜂窝移动通信基站天线技术研究进展 [J]. 西安电子科技大学学报, 2003, 30 (6): 792-797.
- CHEN Sheng-bing, JIAO Yong-chang, ZHANG Fu-shun, et al. Study Progress of Antenna Technology on Cellular Mobile Communication Base Station [J]. Journal of Xidian University, 2003, 30 (6): 792-797.
- [12] 谢拥军, 李磊, 周建华, 等. Ansoft HFSS 基础及应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- XIE Yong-jun, LI Lei, ZHOU Jian-hua, et al. Basis and Applications of Ansoft HFSS [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2007.
- [13] YAHYA RAHMAT-SAMII, NANDO JIN. Particle Swarm Optimization in Engineering Electro-Magnetics: A Nature-Inspired Evolutionary Algorithm [C] // International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications. Torino: IEEE Press, 2007: 177-182.
- [14] CHEN T B, DONG Y L, JIAO Y C, et al. Synthesis of Circular Antenna Array Using Crossed Particle Swarm Optimization Algorithm [J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2006, 20 (13): 1785-1795.
- [15] 于润, 胡亮, 王剑辉. 3G 智能天线算法优化 [J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2008, 26 (1): 16-20.
- YU Jian, HU Liang, WANG Jian-hui. Optimizing of Smart Antenna Algorithm in 3G [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2008, 26 (1): 16-20.

(责任编辑: 张洁)

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>