

# 微粒群算法优化设计宽带微带天线

赵亚敏, 许家栋

(西北工业大学 电子信息学院, 西安 710129)

**摘要:**微粒群(PSO)算法具有概念简单、容易实现及收敛速度快等优点,离散二进制 PSO 是 PSO 在二进制空间的扩展。将离散二进制 PSO 算法与 FDTD 法相结合来优化设计宽频带微带天线,以矩形微带贴片天线为例,仿真结果显示,在将 PSO 算法中的微粒维数分别设置为 20 维和 64 维的情形下,通过对天线贴片形状的优化,天线的 -10dB 带宽由原来的 4.4% 左右拓宽至大约 13.8% 和 14.5%,优化成效显著。

**关键词:**微粒群算法;离散二进制;时域有限差分法;微带天线

**中图分类号:**TN82      **文献标识码:**A      **文章编号:**1003-8329(2009)04-0026-04

## Designing of A Broadband Microstrip Antenna Using Particle Swarm Optimization

ZHAO Ya-min, XU Jia-dong

(School of electronic information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract:**The significant feature of particle swarm optimization (PSO) is simpler expression, less parameters and easier operation. The discrete binary PSO is an extension of standard PSO on binary system. In this paper, discrete binary PSO combined with FDTD method is applied to design a broadband microstrip antenna. As an example, a rectangular microstrip patch antenna was optimized, and when the dimension sizes was set to 20 and 64, test results showed the bandwidth at -10dB of antenna was expanded from about 4.4% to 13.3% and 14.5%.

**Key words:** particle swarm optimization; discrete binary; finite difference time domain; microstrip antenna

## 1 引言

微粒群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是由 Kennedy 和 Eberhart 等人于 1995 年提出的一种基于种群搜索的群体智能优化算法。与其他优化算法相比,PSO 算法概念简单、容易实现、收敛速度快,既适合科学研究又特别适合工程应用。在许多

实际的工程应用中需要将微粒群算法在二进制空间进行扩展,于是 Kennedy 和 Eberhart 构造出了一种离散形式的二进制微粒群决策模型<sup>[1]</sup>。时域有限差分(Finite Difference Time Domain)法是目前电磁场领域内最活跃的数值计算方法之一,其适应性强,经过一次时域计算就可得到所需要频带的频域结果,适合模拟各种复杂电磁结构,在平面电路和天线

• 基金项目:西北工业大学科技创新基金资助项目(No. 2006CR11)。

作者简介:赵亚敏(1975-),女,西北工业大学博士研究生。主要研究方向:电磁场数值计算。

等领域已得到广泛应用。

微带天线由于其剖面低、体积小、重量轻、易于与载体共形,且造价低等众多优点被广泛应用于通信领域,但其缺点是频带窄。人们采取了很多方法来增加带宽如加寄生贴片、加厚介质层、加销钉等技术,而这些方法提高了制作成本和工艺难度。在文献[2]和[3]中,作者分别将遗传算法与矩量法和时域有限差分法相结合,搜索新形状的贴片用于宽频。本论文中将 PSO 算法成功地应用到微带天线的优化中,并利用 PSO 算法优化出了具有宽带特性微带天线,克服了微带天线窄带的缺点。

## 2 微粒群优化算法

与遗传算法等大多数进化算法一样,粒子群算法也是基于群体的优化方法。微粒群算法是将每个个体看作是  $D$  维搜索空间中的一个没有体积没有质量的微粒,在搜索空间中以一定的速度飞行,并根据对个体和集体的飞行经验的综合分析来动态调整飞行速度,最终根据对环境的适应度将群体中的个体移动到好的区域。假设在一个  $D$  维的目标搜索空间中,随机初始化  $m$  个粒子组成一个群落,其中第  $i$  个粒子的空间位置为  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。所有的粒子都有一个由其位置向量所决定的适应度值,以衡量粒子  $x_i$  的优劣,粒子群优化算法通过迭代找到最优解。每个粒子在搜索空间中以一定的速度飞行,这个速度也是一个  $D$  维向量  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ ,它可以根据本身的飞行经验和同伴的飞行经验来动态调整。第  $i$  个微粒所经历的最好位置称为其个体历史最好位置,记为  $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ ,相应的适应值为其个体历史最好适应值  $F_i$ ,所有微粒经历过的中的最好位置称为全局历史最好位置,记为  $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$ ,相应的适应值为全局历史最好适应值  $F_g$ 。PSO 算法根据以下的公式改变粒子的位置和速度:

$$v_{id} = \omega v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \quad (1)$$

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

其中  $\omega$  为惯性权值,  $c_1$  和  $c_2$  都为正常数,称为加速系数,  $r_1$  和  $r_2$  是两个在  $[0, 1]$  范围内变化的随机数。式(1)中,第一部分由微粒先前速度的惯性引起,为“惯性”部分,表示微粒对当前自身运动状态的信任,依据自身的速度进行惯性运动。第二部分为“

认知”部分,即微粒本身所经历的最好信息对自己下一步行为的影响。第三部分为“社会”部分,表示微粒间的信息共享与相互合作,即群体最好信息对微粒下一步行为的影响。公式(2)表示了微粒在求解空间中,由于相互影响导致的运动位置调整。

当扩展至二进制空间,微粒群算法离散二进制模型的速度和位置更新公式表示为:

$$v_{id} = \omega v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id})$$

$$\text{if } (\text{rand}() < S(v_{id})) \text{ then } x_{id} = 1, \text{ else } x_{id} = 0 \quad (3)$$

其中  $S(v_{id}) = \frac{1}{1 + \exp(-v_{id})}$  为 Sigmoid 函数。

标准 PSO 算法的工作流程如下:

- 1) 初始化算法的各个参数。
- 2) 评价各微粒的初始适应值,设定个体历史最优值及全局历史最优值。
- 3) 根据公式(3)计算各微粒新的速度和位置,并对各微粒新的速度和位置进行限幅处理。
- 4) 重新评价各微粒的适应值。
- 5) 对每个微粒,比较其当前适应值和其个体历史最好适应值,若当前值更优,则令当前适应值为其个体历史最好适应值,保存当前位置为其个体历史最好位置。
- 6) 比较所有微粒的当前适应值和全局历史最好适应值,若某微粒的当前适应值更优,则令该微粒的当前适应值为全局历史最好适应值,并保存该微粒的当前位置为全局历史最好位置。
- 7) 若满足停止条件(适应值足够好或适应值误差达到设定误差限,或者达到设定最大迭代次数),搜索停止,输出搜索结果。否则,返回步骤 3) 继续搜索。

## 3 优化结果

微带天线的一个很大缺点是其频带太窄。而本文试图通过 PSO 算法对微带天线形状进行优化,即去除贴片的某些部分以设计出更好的天线贴片形状,达到拓宽频带的效果。

待优化天线为文献[4]中所描述天线,如图 1 所示,天线的第一谐振频率为 7.5GHz。FDTD 计算中天线的贴片部分的网格数为  $32 \times 40$ 。PSO 算法中参数设置为  $c_1 = c_2 = 2$ ,  $\omega = 0.5$ 。种群的数目和维

数要选择合适的,不能过大或过小,过大时优化的计算量太大,过小则极可能导致不能得到正确的优化结果。后面将分别在两种不同种群数目和维数的情形下对天线进行优化。同样,贴片去除的概率也要有一定的限制,这里设定为0.2。作为一种时域方法,激励源选择合适的脉冲波时,FDTD法经过一次时域计算后,利用Fourier变换即可得到所需要频域上的宽频信息。所以对适应度函数的构造可以选择多频率点来设计,并且不会因此而增加计算量,故适应度函数的选择比较灵活。本文中适应度函数的目标值在这里选为-10dB,即当函数适应值达到-10dB时,循环结束并且优化成功完成。适应度函数为:

$$F = \sum_{i=1}^3 \frac{|S_{11}(i)|}{3} \tag{4}$$

$$S_{11}(i) = \begin{cases} 0 & S_{11}(i) > -5 \\ -10 & S_{11}(i) < -10 \end{cases} \tag{5}$$

所选取的频率点是:7.2 GHz,7.5 GHz,8.0GHz。

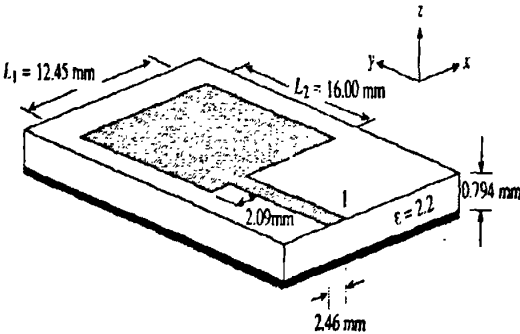


图1 矩形微带贴片天线

下面分别在  $m = 30, D = 20$  和  $m = 20, D = 64$  两种条件下对天线进行优化:

1)  $m = 30, D = 20$ , PSO 优化时,贴片被划分为  $4 \times 5 = 20$  个单元,即优化时所划分的1格,在FDTD中被划分为  $8 \times 8$  个小网格。

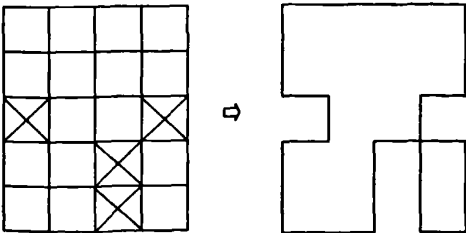


图2 天线贴片优化后形状

图2为优化后微带天线的贴片形状。图3为优化前和优化后天线反射系数  $S_{11}$  对比图。优化前

天线的-10dB带宽约为4.4%,而优化后天线的-10dB带宽增加了大约13.8%。

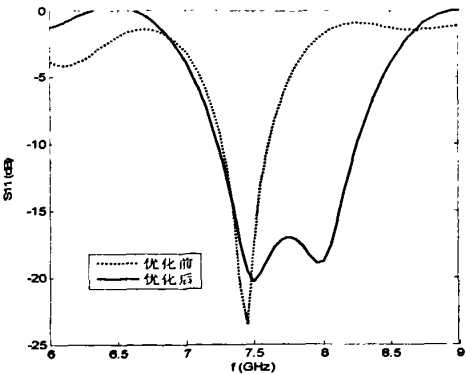


图3 微带天线的反射系数

2)  $m = 20, D = 64$ , PSO 优化时,贴片被划分为  $8 \times 8 = 64$  个单元,即优化时所划分的1格,在FDTD中被划分为  $4 \times 5$  个小网格。

图4为优化后微带天线的贴片形状。图5绘出优化后天线反射系数  $S_{11}$ ,同样也与优化前作了比较,优化后天线的-10dB带宽增加了大约14.5%。

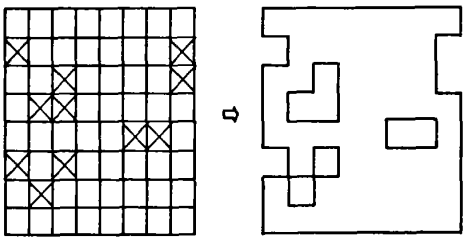


图4 天线贴片优化后形状

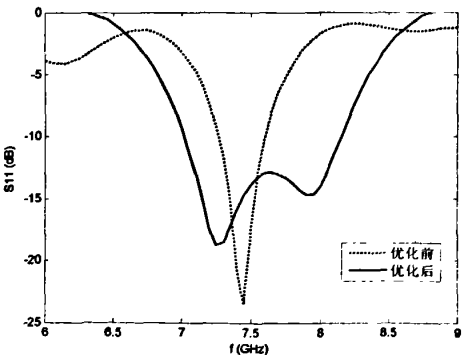


图5 微带天线的反射系数

从两组结果看,优化的结果都非常好。因此可以得出,对于不同的通带需要,可以比较方便的应用PSO算法优化出所需要的天线。

## 4 结 论

本文成功地将微粒群算法的离散二进制形式与 FDTD 法结合对微带天线的贴片形状进行了优化。由于 FDTD 算法能够经过一次时域计算得到所需频带上的频域结果,因此与矩量法相比,优化算法在与该算法结合时,无需改变天线的 FDTD 程序。优化结果表明优化后的天线宽带性能得到明显改善。

### 参考文献

[1] Kennedy J, Eberhart R C. A discrete binary version of the

particle swarm algorithm [A]. Proceedings of the 1997 International Conference on Systems, Man, and Cybernetics [C]. New York, NY, USA: IEEE, 1997. 4104 ~ 4109.

- [2] 杨帆, 张雪霞. 遗传算法在微带天线优化中的应用[J]. 电子学报, 2000, 28(9): 91 ~ 95.
- [3] 陈文俊, 黎滨洪, 谢涛. 遗传算法在优化设计宽频微带天线中的应用[J]. 微波学报, 2005, 21(4): 34 ~ 36.
- [4] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra. and J. A. Kong, Application of the three - dimensional finite - difference time - domain method to the analysis of planar microstrip circuits[J]. IEEE Tran. 7. Microwave Theory Tech. , vol. MTT - 38, July 1990, pp. 446 - 453.

(收稿日期:2009-04-10)



(上接第 25 页)

的网络,它能够观察周围环境,根据端到端的目标,使用适当的学习机制,对网络状态做出正确的规划,决策和动作。未来的通信网络需要网络具有更多的智能化因素,需要网络具有自配置、自优化等特性,这些目标很好的契合了认知网络的特征,因此,未来通信网络向着认知网络发展将是未来移动通信发展的一个重要趋势。

### 参考文献

[1] 杨小牛. 从软件无线电到认知无线电,走向终极无线电——无线通信发展展望[J]. 中国电子科学研究院学报, 2008, 3(1): 1 - 7.

[2] Thomas. R. W, DaSilva. L. A, MacKenzie. A. B. Cognitive Networks [A]. Proc. IEEE DySPAN 2005 [C], Nov. 2005; 352 - 360.

[3] 滑楠, 曹志刚. 无线认知网络概念与实例研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(02): 1 - 6.

[4] Thomas. R. W, Friend. D. H, DaSilva. L. A, MacKenzie. A. B. Cognitive networks: adaptation and learning to achieve end - to - end performance objectives[J]. Communications Magazine, IEEE, 2006, 44(12): 51 - 57.

- [5] John Boyd. A discourse on winning and losing: Patterns of conflict[R]. 1986.
- [6] G. Holland, N. Vaidya, P. Bahl. A Rate. Adaptive MAC protocol for Multi - Hop Wireless Networks [A]. ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM01) [C]. Rome, Italy, 2001: 42 - 47.
- [7] Ramachandran. B, Shanmugavel. Mobility Adaptive Cross Layer Design for Reliable Route Discovery in Ad - hoc Networks [A]. Wireless Communication and Sensor Networks, 2007. WCSN 07 [C]. Third International Conference on 13 - 15 Dec. 2007: 69 - 73.
- [8] Jie Chen, T. Lv, Haitao Zheng. Joint cross - layer design for wireless QoS content delivery [C]. 2004 IEEE ICC, Vol. 7, 20 - 24 June 2004: 4243 - 4247.
- [9] IEEE 802. 16 Broadband Wireless Access Working Group. IEEE 802. 16m System Description Document [R]. Feb. 2009.
- [10] 3GPP TS 32. 500, Telecommunication management; Self - Organizing network (SON); Concepts and requirements (Rel. 8) [R]. Dec. 2008.
- [11] NEC Corporation, Self Organizing Network, NEC's proposals for next - generation radio network management [R]. Feb. 2009.

(收稿日期:2009-08-31)

## 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>