

基于遗传算法的微带缝隙天线设计

丁霄，姜兴

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 经分析建立微带缝隙天线的传输线等效模型, 将遗传算法引入到天线设计中。采用遗传算法的编码方式、适应度函数以及目标函数, 根据遗传算法寻优结果设计出微带缝隙天线, 并利用 Ansoft HFSS 对天线的电特性和场特性进行了仿真, 结果证明, 遗传算法在天线设计中具有可行性和可靠性。

关键词: 微带缝隙天线; 传输线等效模型; 遗传算法

中图分类号: TN821⁺. 91

文献标识码: A

文章编号: 1673-808X(2007)03-0196-04

Designing of microstrip slot antenna by genetic algorithms

DING Xiao, JIANG Xing

(School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The designing of microstrip slot antenna is presented in this paper where genetic algorithm is employed and transmission line modeling for microstrip slot antenna is analyzed. The algorithm in terms of coding mode, the fitness function and the object function are discussed in detail. The antenna is designed using the results of optimization by genetic algorithms and its electrical properties and far field properties is simulated with Anosoft HFSS. It has been proved that the genetic algorithm is an effective and reliable method for designing antenna.

Key words: microstrip slot antenna; transmission line modeling; genetic algorithm

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法。由于其具有较好的全局搜索性能以及鲁棒性强的优化技术, 因此, 近年来遗传算法广泛的应用到组合优化、自动控制、数据挖掘和信息战等众多领域并取得了成功^[1]。微带天线近年来随着移动通信的发展倍受关注, 与通常的微波天线相比, 微带天线具有重量轻, 体积小, 易于制造等诸多优点^[2]。作为微带天线的一种形式, 微带缝隙天线除具有微带天线所具有的优点以外, 还能产生所希望获得的极化, 且对制造公差的敏感度要求略低。

基于以上考虑, 将遗传算法应用到微带缝隙天线的设计中。根据传输线等效模型得到适应度函数的具体解析表达式, 并结合缝隙天线端口回波损耗建立了目标函数。运用 Sheffield 大学开发的基于 Matlab 的遗传算法工具箱, 编程优化设计出微带缝隙天线。利用 Ansoft HFSS 仿真研究了所设计出微带缝隙天线的电特性和场特性。

1 微带缝隙天线的传输线等效模型

微带缝隙天线含有开在地板上并与微带馈电线相垂直的缝隙, 该缝隙受微带传输线中传输的能量激励, 微带馈电线通过介质基片同缝隙相短接或是在终端开路^[3], 其基本原形如图 1 所示, 从图 1(b)中看到厚度为 h_1 和 h_2 的介质层将贴片、地板和馈线分开, 图 1(a)中贴片的长宽分别为 a 和 b 并位于天线顶端; 微带馈电线的长宽分别为 L 和 W 并位于天线底部; 耦合缝隙是在位于中部的地板上与馈线相垂直的开槽且长宽分别为 la 和 Wa ; 两介质层介电常数分别为 ϵ_{r1} 和 ϵ_{r2} 。

文献[4]给出了这种结构微带缝隙天线的传输线等效模型, 如图 2 所示。

图 2 中, G_s 是与边缘辐射能量相关的等效导电, B_s 是终端效应引起的等效电纳, Z_{patch} 是顶部贴片输入导纳, 两厚度为 h_1 和 h_2 的介质层可等效为比例系数分别为 n_1 和 n_2 的两理想变压器, Y_{ap} 为缝隙等效导

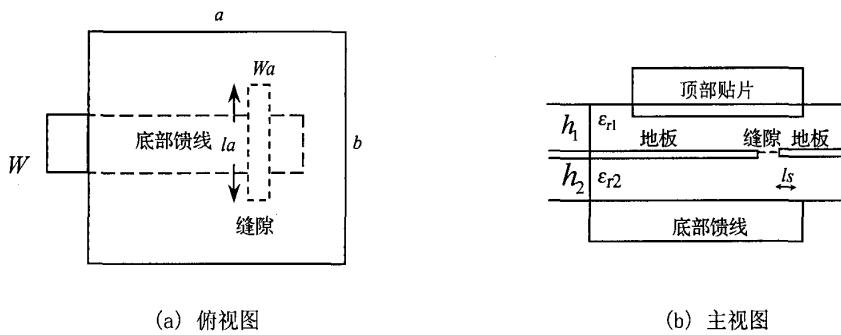


图1 待设计微带缝隙天线基本原形

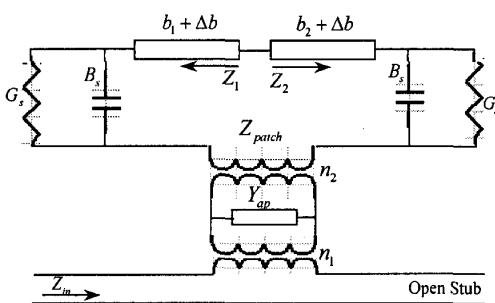


图2 传输线模型的等效电路

纳, Z_{in} 为整个缝隙天线的输入阻抗, 其具体解析表达式为^[5]:

$$Z_{in} = \frac{n_2^2}{\left(\frac{n_2^2}{Z_{patch}} + Y_{ap} \right)} - j \cdot Z_0 \cdot \cot(k_s \cdot l_s) \quad (1)$$

式中 Z_0 —天线特性阻抗;

k_s —波数因子;

l_s —馈线过缝隙的长度。

根据 Cohn. s 的研究^[5], 该微带缝隙天线的特性阻抗 Z_0 和波数 k_s 分别表达为

$$Z_0 = \frac{591.7}{\sqrt{\epsilon} \cdot \ln\left(\frac{8h_1}{\pi W}\right)}, \quad k_s = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\epsilon_r - 1}{2}} \quad (2)$$

Pues. H 在 Cohn. s 等人工作的基础上得到了顶部贴片输入阻抗 Z_{patch} 更为一般的表达形式和缝隙等效导纳 Y_{ap} 的解析表达式^[6], 具体如下:

$$Z_{patch} = \frac{Y_s + Y_0 \coth(\gamma b)}{Y_0^2 + Y_s^2 - Y_m^2 + 2Y_s + Y_0 \coth(\gamma b) - 2Y_m + Y_0 \operatorname{csch}(\gamma b)} \quad (3)$$

$$Y_{ap} = \frac{2j \cot\left(\frac{k_s \cdot l_a}{2}\right)}{Z_0} \quad (4)$$

式中 Y_s —等效传输线模型自阻抗;

Y_m —等效传输线模型互阻抗;
 γ —传播常数。

将式(2)~(4)代入式(1), 最终得到整个缝隙天线的输入阻抗。该输入阻抗是关于顶部贴片宽 a 和长 b , 缝隙长 l_a 和宽 Wa , 两介质层厚度 h_1 和 h_2 以及馈线宽度 W 和馈线过缝长度 l_s 的函数。本文所涉及遗传算法中, 待优化顶部贴片的宽 a 、长 b 和缝隙长度 l_a 三个变量, 其余变量可通过文献[3]中经验公式计算获取, 故式(1)可简单记为 a 、 b 和 l_a 的函数, 其映射关系为

$$Z_{in} = F(a, b, l_a). \quad (5)$$

2 遗传算法设计微带缝隙天线

遗传算法基本流程图如图 3 所示, 其各个具体步骤如下。

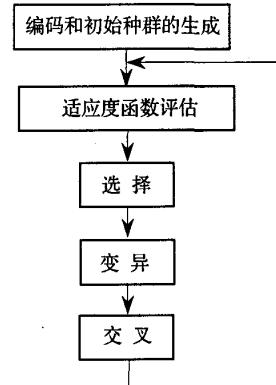


图3 遗传算法基本流程图

2.1 初始种群的产生

微带缝隙天线优化设计过程中, 选择贴片的宽 a 、长 b 和缝隙长度 l_a 三个变量为待优化设计的参数。由

于遗传算子操作的是二进制的基因串,因此必须将待优化设计的参数映射为合适的基因串,这一映射过程被称为编码即初始种群的产生。

采用二进制编码,创建实任意离散随机种群,在给定初始范围内将 a 、 b 和 la 三变量分别转换为七位染色体,其基因位由均匀分布的随机数来生成,编码共 21 位。具体染色体编码见表 1。

表 1 三变量染色体编码

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
la_1	la_2	la_3	la_4	la_5	la_6	la_7

2.2 适应度函数的设计

适应度函数决定了当前群体中各个个体遗传到下一代群体中机会多少,适应度函数设计的好坏直接关系到收敛速度和准确度^[1]。本文目的是寻优找出最佳的贴片的宽 a 、长 b 以及缝隙长度 la ,因此适应度函数的选取必须是 a 、 b 和 la 的函数,记为:

$$fitness = F(a) \cdot F(b) \cdot F(la), \quad (6)$$

其中 $F(a)$ 、 $F(b)$ 、 $F(la)$ 分别为关于 a 、 b 和 la 的函数。通过前面传输线模型分析得知,式(3)正好是关于 a 、 b 的函数,式(4)正好是关于 la 的函数。因此,适应度函数的选取为

$$fitness = Eq3(a, b) \cdot Eq4(la), \quad (7)$$

$Eq3$ 、 $Eq4$ 分别是表达式(3)和表达式(4)。

2.3 获得适应度函数的转化及目标函数

工程设计中,为了得到更好的匹配往往对回波损耗有很严格的要求,微带缝隙天线的回波损耗可以表示为

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|. \quad (8)$$

从式(8)中可以看出,通过减少输入阻抗 Z_{in} 的虚部能使得天线端口回波损耗减少,而由于式(7)所设计的适应度函数并未考虑到回波损耗这一重要因素,因此结合实际工程需要,将回波损耗对天线造成的影响加入到适应度函数中来,为得到适应度函数最大值,故将适应度函数转换如下形式:

$$fitness = \frac{Eq3(a, b) \cdot Eq4(la)}{imag(Eq5)}, \quad (9)$$

$imag(Eq5)$ 为表达式(5)的虚部。

通过上面的推导和转化,得到了最终的适应度函

数的最大值。该类问题为一求极大值的极小值问题,采用遗传算法进行优化,再将适应度函数最大值转化为目标函数最小值,因此,选取目标函数为

$$ObjV = \frac{1}{fitness}. \quad (10)$$

2.4 遗传算法其它参数的设置

遗传操作是遗传算法的核心部分,一般遗传操作由选择、变异和交叉构成,采用一致随机和基于适应度重插入选择;运用单点交叉,交叉概率为 0.95;选择离散变异,变异概率为 0.08。

3 微带缝隙天线设计结果

现设计中心频率 $f_0 = 2.25\text{GHz}$ 的微带缝隙天线,待优化设计 a 、 b 和 la 三个变量,根据文献[3]中经验公式计算得到天线其他参数分别为

$$h_1 = h_2 = 1.6\text{mm}, W = 4.42\text{mm},$$

$$L = 70\text{mm}, Wa = 1.15\text{mm}, ls = 20\text{mm}.$$

其中两介质层介电常数为 $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 2.54$ 。

运用 Sheffield 大学开发的基于 Matlab 的遗传算法工具箱,编写遗传算法程序:设定种群大小为 100、遗传代数 500 代、计算目标函数式(10)。遗传算法程序结果表明:在第十八代发现最佳个体,此时得到三变量具体数值参见表 2. 图 4 则给出了遗传算法各子代收敛轨迹图。

表 2 遗传算法寻优各变量最终取值

$a(\text{mm})$	$b(\text{mm})$	$la(\text{mm})$
25.674	35.211	15.84

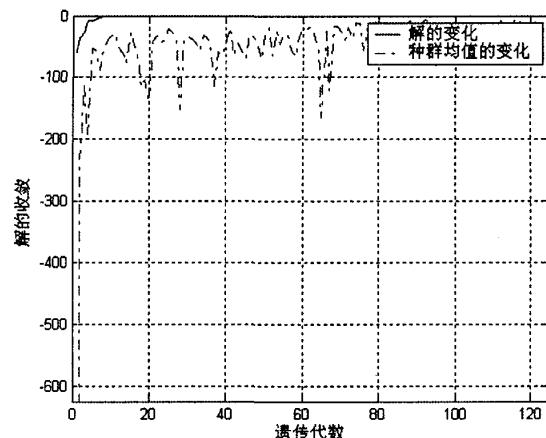


图 4 遗传算法子代收敛轨迹

根据表2得到的遗传算法寻优后各变量具体数值,设计出具体的微带缝隙天线,并通过Ansoft HFSS仿真了天线的电特性和场特性,具体如图5~图7所示。

从图5中可以看到,所设计出的微带缝隙天线最低模式谐振频率为2.256GHz,此时天线端口的反射系数小于-10dB,可见根据遗传算法设计出的微带缝隙天线中心频率与预期所设想基本一致。图6(a)给出了该微带缝隙天线E面辐射方向图,从中可以看出天线辐射主瓣朝上,其相对增益最大值也达到约7dB,图6(b)则给出了天线H面辐射方向图,从中可见天线是全向辐射的。图5、图6同时也显示出了设计的一些缺陷,例如带宽很窄等。总体来说,根据遗传算法设计出微带缝隙天线,其设计结果与预期结果基本一致,取得了满意的结果。

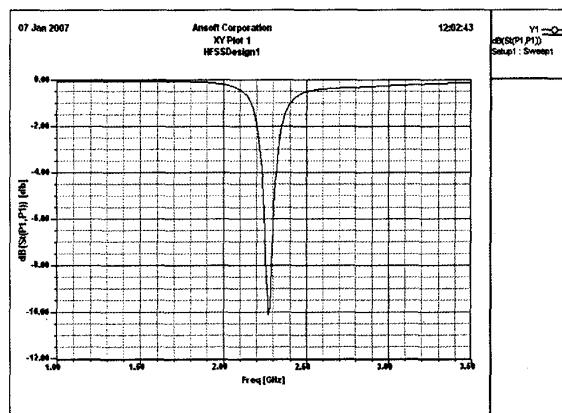
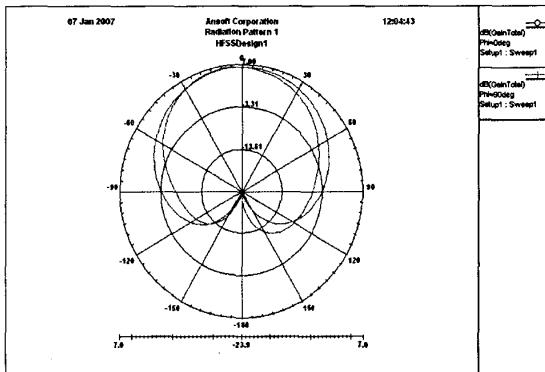
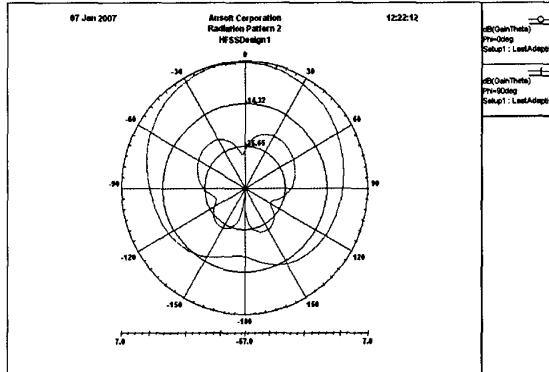


图5 微带缝隙天线端口反射系数图



(a) E面辐射方向图



(b) H面辐射方向图

图6 微带缝隙天线辐射方向图

4 结论

通过讨论微带缝隙天线的传输线等效模型,本文将遗传算法引入到具体缝隙天线的设计中。所设计结果与预期设想结果基本一致,从而论证了遗传算法在微带缝隙天线设计中的可行性和可靠性。但本文所采用传输线等效模型推导微带缝隙天线输入阻抗存在一定误差,且待优化设计变量个数较少,对采用更为准确地微带缝隙天线输入阻抗计算公式以及进一步增加优化变量数目还有待于做更深入的研究。

参考文献:

[1] 雷英杰,张善文,等. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:

西安电子科技大学出版社,2005,4:95—105.

- [2] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991, 4: 102—122.
- [3] 鲍尔 I J, 布哈蒂亚 P. 微带天线[M]. 梁联倬, 寇廷耀, 译. 北京: 电子工业出版社, 1984, 12: 49—70.
- [4] HIMDI M, DANIEL J P, TERRET C. Transmission line analysis of aperture-coupled microstrip antenna[J]. Electronics Letters, 1989, (18): 1229—1230.
- [5] COHN S B. Slot line on a dielectric substrate[J]. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, 1969, (5): 768—778.
- [6] PUES H, VAN DE C. An accurate transmission-line model for the rectangular microstrip antenna[C]// Microwaves, Opt. & Antennas, IEE Proceedings, 1984, (6): 334—340.

责任编辑 梁王欢

英文编辑 陆小明

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，一直致力于专注于微波、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>