

文章编号:1006-2467(2005)04-0653-03

蝶形微带天线谐振频率公式的修正及其应用

陈文俊, 黎滨洪, 谢涛

(上海交通大学电子工程系, 上海 200030)

摘要: 基于微带贴片天线的空腔模型理论, 在大量仿真和实验数据的基础上, 给出了蝶形天线谐振频率的经验式。该式与以前的计算式相比, 具有更高的精度, 能满足工程应用的需要。以该式为适应度函数, 研究了采用二进制编码的简单遗传算法设计蝶形微带天线贴片尺寸的方法。设计结果和实验结果比较表明, 所用设计方法是有效和可行的。

关键词: 谐振频率公式; 空腔模型; 遗传算法; 蝶形天线

中图分类号: TN 822 文献标识码: A

A Modified Resonant Frequency Formula of Bow-tie Microstrip Antenna and Its Application

CHEN Wen-jun, LI Bin-hong, XIE Tao

(Dept. of Electronic Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

Abstract: A modified empirical resonant frequency of bow-tie microstrip antenna was given, which is based on the cavity model of microstrip antenna. The simulation and experimental data verify the accuracy of the formula. A process to design bow-tie microstrip antenna in which the formula is taken as a fitness function was presented. An optimized bow-tie antenna by the genetic algorithm was constructed and measured. The result demonstrates the validity and efficiency of the genetic algorithm.

Key words: resonant frequency formula; cavity model; genetic algorithm; bow-tie patch antenna

蝶形微带天线的辐射特性与矩形微带天线相似, 但与矩形微带天线相比, 蝶形天线的总面积大幅度减小^[1]。蝶形微带天线在某些应用中可以代替矩形贴片天线^[2]。本文给出了蝶形天线的谐振频率公式, 并用矩量法(MoM)的数值结果及部分文献的实测结果检验了该公式精确性。

与传统的试错法相比, 遗传算法设计微带, 既可以提高设计速度又可以节约设计成本^[3,4]。文献[5]中讨论了遗传算法与MoM结合优化设计微带天线的方法。但该方法用MoM评估染色体, 需耗费大量的计算时间。利用矩形微带天线的谐振频率公式作为适应度函数, 文献[6]用遗传算法优化了矩形微带

天线的尺寸, 由于不需要用数值的方法评估染色体, 这种方法设计速度非常快。本文借鉴了文献[6]的设计思想, 以蝶形微带天线谐振频率为适应度函数, 用遗传算法优化蝶形天线的尺寸, 并通过实验检验了设计结果。

1 蝶形微带天线谐振频率公式

基于空腔模型^[7], George 等^[1]给出了如图1所示的蝶形微带贴片天线的主模 TM₁₀ 的谐振频率经验公式, 但该公式有误。本文将其修改为

$$f_r = \frac{cK}{2\sqrt{\epsilon_r}} \times 1.152 \quad (1)$$

收稿日期: 2004-04-17

作者简介: 陈文俊(1970-), 男, 安徽怀宁人, 博士生, 主要研究方向为电磁场的数值计算和微带天线的分析与设计。

黎滨洪(联系人), 男, 教授, 博士生导师, 电话(Tel.): 021-62933400; E-mail: bhli@sjtu.edu.cn。

式中：

$$K = \frac{1}{2} \frac{[(w + 2\Delta l) + (w_1 + 2\Delta l)]}{(w + 2\Delta l)(H + 2\Delta l)}$$

$$\Delta l = \frac{0.412h(\epsilon_r + 0.3)(w_i/h + 0.262)}{(\epsilon_r - 0.258)(w_i/h + 0.813)}$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(1 + \frac{12h}{w_i} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$w_i = \frac{w + w_1}{2}$$

h 为天线介质层厚度, ϵ_r 为其相对介电常数, c 为真空中的光速, 其他各参数意义如图 1 所示。

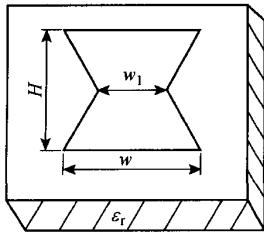


图 1 蝶形天线

Fig. 1 Geometry of bow-tie microstrip antenna

为检验式(1)的精确性, 分别用 MoM 和式(1)计算了 6 个尺寸不同的蝶形微带贴片天线的谐振频率, 如表 1 所示。由表可见, 两者最大相对误差为 2.63%, 最小相对误差为 0.87%。需要指出的是, 大量的数值计算对照表明, 当 $w/H \approx 1$ 时, 式(1)有很好的精度; 而当 w 和 H 的尺寸相差很大时, 误差较大。所以当 $w/H \approx 1$ 时, 式(1)可满足工程应用的需要。

表 1 MoM 与式(1)计算的不同天线的谐振频率对照

Tab. 1 Comparison of resonant frequencies of bow-tie antenna calculated by MoM and Eq. (1)

	天线编号					
	1	2	3	4	5	6
ϵ_r	4.50	2.55	2.55	2.33	2.80	2.60
h/mm	1.60	1.43	1.55	1.57	1.50	1.57
w/mm	66.0	50.0	12.3	22.1	28.8	24.0
w_1/mm	10.00	9.20	5.00	8.00	7.00	7.42
H/mm	66.1	50.0	19.7	25.4	31.2	24.0
MoM/GHz	0.740	1.326	4.128	3.124	2.182	3.015
f_r/GHz	0.732	1.311	4.031	3.097	2.126	2.987
相对误差/%	1.09	1.14	2.41	0.87	2.63	0.94

对于 $\epsilon_r = 4.5, h = 1.6 \text{ mm}, w = 66 \text{ mm}, w_1 = 10 \text{ mm}, H = 66.1 \text{ mm}$ 的蝶形微带天线实测频率为 737 MHz^[1], 文献[8]的计算结果为 745 MHz, 误差为

1.1%; 本文公式计算结果为 732 MHz, 误差为 0.68%。对 $\epsilon_r = 3.05, h = 1.542 \text{ mm}, w = 60 \text{ mm}, H = 69.282 \text{ mm}, w_1 = 20 \text{ mm}$ 的蝶形天线, 文献[8]中实测频率为 954 MHz, 计算频率为 909 MHz, 误差为 4.72%; 本文计算结果为 971 MHz, 误差为 1.78%。可见, 本文公式优于文献[8]中公式的精度。下面以式(1)为适应度函数, 讨论遗传算法设计蝶形微带天线的方法。

2 遗传算法的设计策略

在给定 f_r, h 和 ϵ_r 的条件下, 本文用遗传算法优化设计微带天线贴片的尺寸, 具体操作过程为:

(1) 编码和解码。首先对需要优化的天线各尺寸 $x_j (j=1, 2, \dots, n)$ 编码成二进制串, 串的长度取决于尺寸所要求的精度。若 x_j 的值域为 $[a_j, b_j]$, 尺寸的精度取为小数点后 2 位, 则 x_j 的串长 m_j 由下式决定^[9]:

$$2^{m_j-1} < (b_j - a_j) \times 10^3 \leqslant 2^{m_j} - 1 \quad (2)$$

将 x_j 的二进制串转化为十进制, 按下式计算:

$$x_j = a_j + D \frac{b_j - a_j}{2^{m_j} - 1} \quad (3)$$

式中, D 表示变量 x_j 二进制子串的十进制值。实际应用中, 将所需的各 x_j 的二进制编码串连接成一个串, 作为单个体的染色体参与遗传操作。

(2) 适应度函数。每一代群体中的个体按与其适应度成正比的概率决定其遗传到下一代的机会。取式(1)为目标函数。当式(1)计算出的频率小于或等于给定的设计频率时, 以式(1)作为适应度函数; 反之, 适应度函数的值取为零。

(3) 选择操作。为加速收敛, 采取了赌盘选择和最优化保存策略相结合的方法进行个体选择。赌盘选择即个体被选中并遗传到下一代的概率与该个体适应度大小呈正比。最优化保存策略是以上一代最佳个体代替当前代最差个体, 进入下一代群体中。

(4) 交叉操作。本文采用常用的单点交叉操作。其过程为: 先对每一代群体中的个体两两随机配对, 再对每一对相互配对的个体, 随机设置某一基因座后的位置交叉点, 最后对相互配对的个体根据设定的交叉概率 P_c 。在交叉点处相互交换部分染色体, 产生新的个体。

(5) 变异操作。变异是使某些基因座上的基因值发生改变, 即按变异概率 P_m 将随机确定的基因座上的 0 变为 1 或将 1 变为 0。 P_m 不宜设置过大, 否则近似于随机搜索, 加大了搜索时间, 不易找到最优解。

3 设计实例

用上述策略设计了一种如图1所示的蝶形天线。已知 $\epsilon_r=2.8$, $h=2\text{ mm}$,天线的设计谐振频率 $f=925\text{ MHz}$ 。遗传操作中,取群体大小为30,演化代数为350, $P_c=0.6$, $P_m=0.01$ 。 H 、 w 、 w_1 的尺寸精确到小数点后两位数,各二进制串长度由式(2)确定,染色体由 H 、 w 、 w_1 二进制子串连接而成。以式(1)为其适应度函数, H 、 w 、 w_1 有多组解,为找出合适的解,增加了 H 近似等于 w 约束条件。在此情况下,遗传算法设计出的理论值为: $H=65.21\text{ mm}$, $w=64.43\text{ mm}$, $w_1=8.62\text{ mm}$ 。根据上述参数制作的蝶形贴片天线实测反射系数 S_{11} 曲线示于图2。从图中可以看出,设计的谐振频率与实测的谐振频率非常接近,但蝶形天线的阻抗带宽很窄。

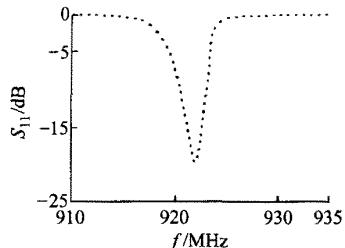


图2 蝶形天线的反射系数

Fig. 2 Return loss of the bow-tie antenna

4 结语

本文给出的蝶形天线的谐振频率形式简单,而且有较好的精确度。遗传算法的设计频率和实测频率存在少许偏差,主要是实验样品的几何物理参数偏离标称值及谐振频率公式的误差等因素造成的。遗传算法编程简单,运算速度快,该方法在计算机辅助设计中有重要的参考意义。改变本文的适应度函数,可用遗传算法来设计各种规则天线如圆环贴片天线等。

参考文献:

- [1] George J, Deepukumar M, Aanandan C K, et al. New compact microstrip antenna[J]. *Electronics Letters*, 1996, 32(6): 509.
- [2] Anguera J, Puente C, Borja C, et al. Small and high-directivity bow-tie patch antenna based on the sierpinski fractal[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2001, 31(3): 269—241.
- [3] Herscovici N, Osorio M F, Peixeiro C. Miniaturization of rectangular microstrip patches using genetic algorithms[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2002, (1): 94—97.
- [4] Bilotti F, Castellana F, Vigni L. Multi-frequency patch antenna design via the method of moment and genetic algorithm[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2002, 35(3): 184—186.
- [5] Johnson J M, Rahmat-Samii Y. Genetic Algorithms and method of moments (GA/MOM) for the design of integrated antennas[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1999, 47(10): 1606—1614.
- [6] Pattnaik S S, Khuntia B, Panda D C, et al. Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using genetic algorithm[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2003, 37(6): 431—433.
- [7] Lo Y T, Solomon D, Richards W F. Theory and experiment on microstrip antennas[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1979, 27(2): 137—145.
- [8] 张需溥, 钟顺时. 碟形天线的谐振频率与双频设计[J]. *微波学报*, 2003, 19(2): 53—56.
ZHANG Xu-pu, ZHONG Shun-shi. Resonant frequency and dual-frequency esign of bow-tie microstrip antenna[J]. *Journal of Microwaves*, 2003, 19(2): 53—56.
- [9] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 旺定伟等译. 北京: 科学出版社, 2000. 13.

下期预告

饱和地基轴对称竖向振动有限元-无限元耦合解	王国才, 宋春雨, 陈龙珠
现浇混凝土楼板设计施工过程中的裂缝控制	李东, 连之伟
索系一空间杂交结构的动力特性和参数分析	马骏, 周岱, 陈恩, 等
斜拉空间网格结构的索系张拉和预应力控制	梁明, 周岱, 柳杰, 等
横观各向同性层状饱和地基的轴对称二维 Biot 固结分析	陈胜立, 贺海洪
土石坝沉降—填筑灰色监测模型分析	黄铭, 刘俊
三维流固两相流的颗粒群轨道柔性模型	王安麟, 邵萌, 梁波, 等
求解弹塑性有限元问题的神经网络方法	任小强, 陈务军, 付功义, 等

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>