

文章编号: 2095-4980(2014)02-0229-04

一种基于分形结构的树生长微带天线设计

樊磊, 骆延, 黄卡玛, 杨阳

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 基于分形理论和自然树竞争(TGCA)思想, 提出了采用树枝结构在不同生长因子下进行迭代生长的方法, 对分形天线多谐振频率点进行优化控制, 克服常见分形天线难于调整多个谐振频率点位置关系的缺点。树生长分形天线通过生长因子和天线尺寸的线性调整, 可以方便地实现高低谐振频率的优化设计, 方法简单易行。基于该方法, 采用时域有限差分(FDTD)算法优化设计了一种具有 GSM900/DCS1800 双谐振频率点的树生长微带分形天线。从实验和仿真结果可以看出, 该微带分形天线在 0.91 GHz, 1.81 GHz 谐振频率处带宽均大于 100 MHz, 水平方向为全向辐射, 测量所得结果和仿真数据吻合较好, 验证了采用生长因子调整分形天线谐振频率的方法。

关键词: 分形天线; 树生长; 双频; 生长因子

中图分类号: TN821/828

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201402.0229

Design of a tree-growth microstrip antenna based on fractal structure

FAN Lei, LUO Yan, HUANG Ka-ma, YANG Yang

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: Based on the fractal theory and the idea of the Tree Growth Competition Algorithm(TGCA), a method of optimizing the resonant frequencies by iterating the branch structure at different growth factors is proposed, which overcomes the inconvenience in adjusting the position relationships of multi-band frequencies for common fractal antennas. The lower and upper resonant frequencies of the tree-growth fractal antenna can be optimized conveniently by linearly changing its size and growth factors. Based on this method, a tree-growth fractal antenna is optimized in the GSM900/DCS1800 frequency band by using Finite-Difference Time-Domain(FDTD) algorithm. The measured and simulated results indicate that the bandwidths of microwave fractal antenna are both above 100 MHz at the resonant frequencies of 0.91 GHz and 1.81 GHz with good omni-directional radiation patterns in the horizontal direction. These good agreements of the measured and simulated results validate the feasibility of the proposed method.

Key words: fractal antenna; tree-growth; dual-frequency; growth factor

随着无线通信系统多功能和智能化的发展,从 GSM900/DCS1800 双频移动通信、WLAN(2.45 GHz, 5.15 GHz~5.875 GHz)、WiMAX(3.5 GHz)到蓝牙无线通信(2.4 GHz),通信设备越来越需要用到多频天线,可以说在无线通信设备上实现多频小型化通信是一种必然的趋势,传统微带天线在多频小型化方面已无法满足时代要求。常见多频天线的实现方法主要包括多辐射单元、缝隙加载^[1-2]、短路探针加载^[1]等。1995 年 Cohen 首次在天线设计中引入分形结构^[3],为天线多频化设计提出了新的思路,由于多频分形天线易制作、小型化等特点,分形结构作为多频特性的实现途径得到广泛关注^[4-6]。分形是通过某一特定简单结构经过多次迭代而形成的一种具有自相似性的结构,而且它具有非整数维填充空间的几何特征。因此,由于分形结构中 2 个很重要的特点——空间填充性和自相似性^[7],在天线设计中能实现多频小型特性。常见的分形天线有 Sierpinski, Hilbert, Koch 及其改进结构等,这些天线能实现特定多频特性并减小天线尺寸,但其各谐振频率点之间的位置关系在天线设计中不是很好调节,通常是采取不同的分形结构天线产生不同的频率谐振点来实现特定的多频效果,少有研究涉及如何改变分形天线多谐振频率点位置以符合实际应用^[4,8]。

收稿日期: 2013-11-07; 修回日期: 2013-12-27

基金项目: 四川大学青年教师基金资助项目(2011SCU11069)

本文结合分形结构和自然树生长竞争算法^[9]的思想,在树生长天线中引入生长因子实现了对分形天线高谐振频率点的控制设计,设计并制作了一种树生长双频分形天线并对其进行了测量。与常见的分形天线^[10]相比,该微带分形天线可以通过调整树枝结构的生长因子便捷地实现设定双频段的的天线设计,克服了常见分形天线难于调整多个频率谐振点的缺点。

1 天线设计

1.1 天线结构设计

结合自然树生长竞争算法的基本思想,在树生长天线中引入生长因子并将其用到单极子中进行分形天线设计,迭代过程如图 1 所示,该天线模仿树生长的特点,在每一根母枝结构上每个节点处长出不同长度的枝丫,迭代过程如下:将零阶树干长度为 L_0 的单极子天线四等分,在 3 个节点处分别长出左右 2 根与母枝干成 β 角度($\beta \leq 90^\circ$)的枝丫,从上到下每个节点处生长的枝丫长度分别为:

$$L_1 = \alpha_1 \frac{L_0}{4}, L_2 = \alpha_2 \frac{L_0}{4}, L_3 = \alpha_3 \frac{L_0}{4} \quad (1)$$

得到一阶分形天线结构,式中: α_1, α_2 和 α_3 分别为各节点处的生长因子, L_1, L_2, L_3 分别为各枝丫长度,再对每一根枝丫执行类似公式(1)的第 2 代枝丫生长便得到二阶分形天线结构。按此方式迭代下去可以得到 n 阶分形结构天线,为了实现双频特性,这里只取二阶分形即可。

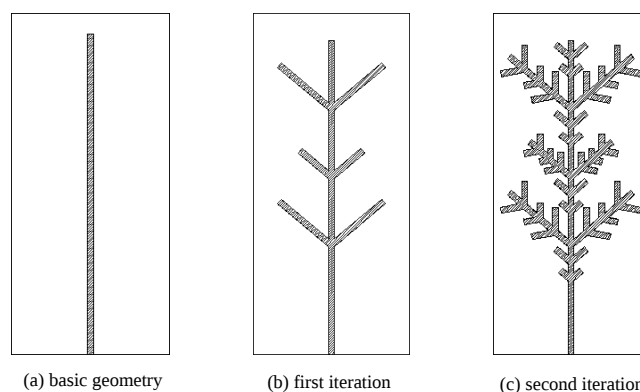


Fig.1 Iteration procedure of fractal antennas

图 1 分形天线的迭代过程

1.2 分形天线小型化仿真分析

对图 1 分形天线进行时域有限差分法(FDTD)仿真,保持图 1 中天线长度不变,通过调节天线 3 个生长因子和生长角度 β 进行优化,图 2 给出了分形天线在 0 阶、1 阶、2 阶的反射系数仿真结果,0 阶、1 阶、2 阶结构天线最小谐振频率点分别为 0.97 GHz, 0.84 GHz, 0.74 GHz。从图中的曲线可以清晰地看到,随着分形阶数的提高,空间填充性增强,天线可利用的谐振频率点随之降低。该分形结构的引入,使天线最低谐振频率点分别下降了 13.4%, 23.7%。因此,此分形结构减小了天线尺寸,实现了小型化。

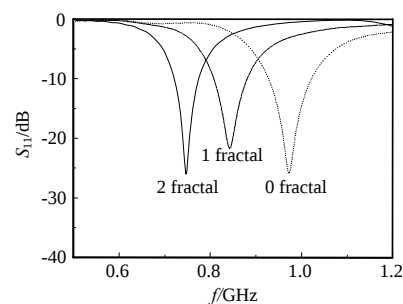


Fig.2 S_{11} of the iteration of fractal antennas

图 2 分形天线 0 阶、1 阶和 2 阶反射系数

1.3 二阶分形天线设计

在调整二阶分形天线的过程中,保持生长因子 $\alpha_1 = \alpha_3 = 0.39, \alpha_2 = 1.03$ 不变,改变天线尺寸 L_0 ,得到仿真结果如图 3(a)所示,天线第一个谐振频率随着 L_0 的增大近似线性减小,图 3(b)给出了天线谐振频率随 L_0 的变化趋势。

保持天线尺寸 $L_0 = 75$ mm 不变的情况下,当 $\alpha_1 = \alpha_3 = 0.5$ 时,随着生长因子 α_2 的增大,第一谐振频率点基本保持不变,第二谐振频率点逐渐减小,如图 4(a)所示。图 4(b)给出了第 2 个谐振频率随生长因子 α_2 线性变化的仿真结果。从图中可以看出,调节生长因子 α_2 的值,可以动态地调节第 2 个频率谐振点位置,在第一谐振频率值为 0.94 GHz 时,调节 α_2 可以实现第二频率谐振点在 1.31 GHz~2.32 GHz 范围的调节。同时调节 β, α_1 和 α_3 可以适当改善天线在谐振频率处的驻波比,树生长因子的引入克服了传统分形天线

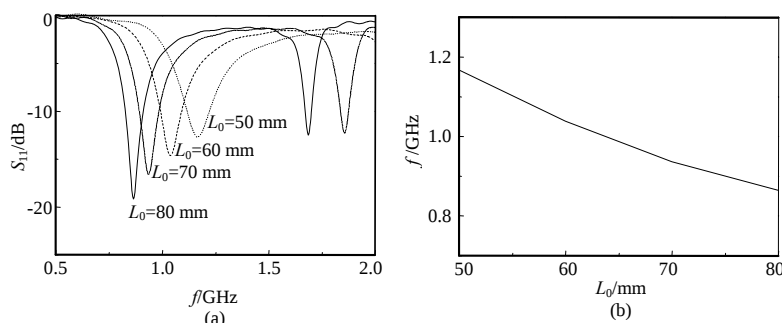


Fig.3 The first resonant frequencies under different lengths of L_0

图 3 天线第一谐振频率随天线尺寸 L_0 变化

设计时可调参数少,不利于优化设计到所需的多谐振频率点的缺点,同时该天线设计简单、灵活。因此可以通过调节 L_0, α_2 方便地设计需要的多谐振频率点。

为实现 0.9 GHz, 1.8 GHz 双频谐振点, 经基于 FDTD 算法优化后的天线参数如下: 天线尺寸 $L_0=75$ mm, 微带馈线长 $L=16$ mm, 微带馈线宽 $w=1.78$ mm, 枝丫生长角 $\beta=50^\circ$, 生长因子 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别 0.39, 1.03, 0.39, 天线印制在尺寸为 95 mm × 45 mm、介电常数为 4.6, 厚度为 1 mm、损耗角正切为 0.001 的 FR-4 介质基板上, 天线加工实物如图 5 所示。

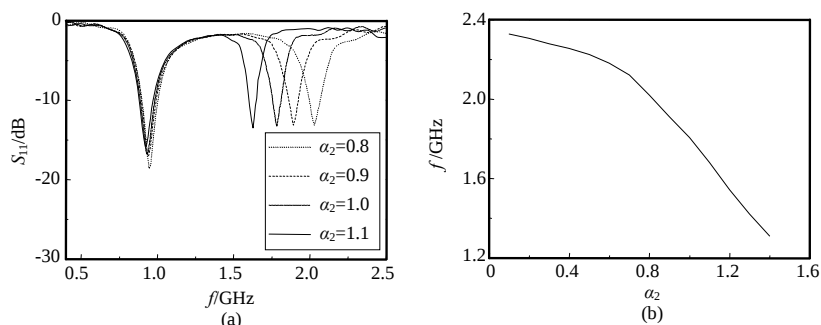


Fig.4 The second resonant frequencies under different values of α_2

图4 天线第二谐振频率点随生长因子 α_2 的变化

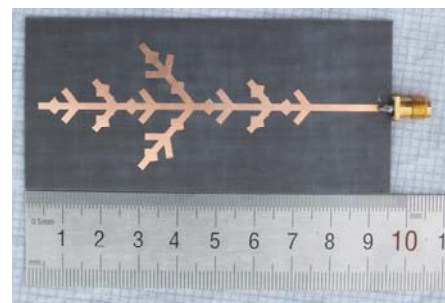


Fig.5 Photograph of the antenna

图5 天线实物图

2 天线测试

天线测试馈电的 SMA 接头采用同轴线馈电, 实际天线测量 S 参数和仿真对比如图 6 所示, 经矢量网络分析仪 N5230A 测量到天线的 2 个谐振频率分别为 0.91 GHz 和 1.81 GHz, 均有 10 MHz 的频率偏移, 实测 S 参数相比仿真略有增大, 但总体与仿真结果比较吻合, 在 2 个谐振频率处的绝对带宽均大于 100 MHz。图 7 为天线在 2 个谐振频率处的 H 面和 E 面仿真和测量方向图, 可以看出, 该分形天线在谐振频率处有良好的全向辐射特性, 在谐振频率处的辐射方向图与普通单极子基本相同。天线测试 results 在 0.91 GHz 处的 H 面略有恶化, 其余测试与仿真结果比较吻合, 天线的总体辐射状态良好。由于测试使用的微波暗室较小, 低于 1 GHz 的天线方向图测试的误差会增大, 是测试误差的主要来源, 此外天线测试和天线介质基板的辐射损耗、不均匀性也会带来一定的误差。

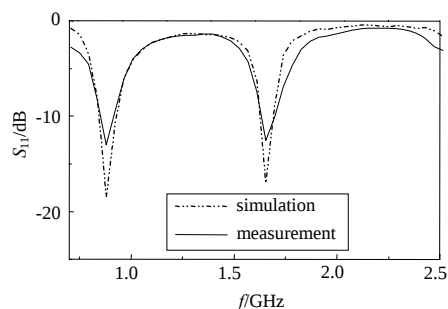


Fig.6 Measured result and simulation result of S_{11}

图6 反射参数 S_{11} 仿真与测量结果对比

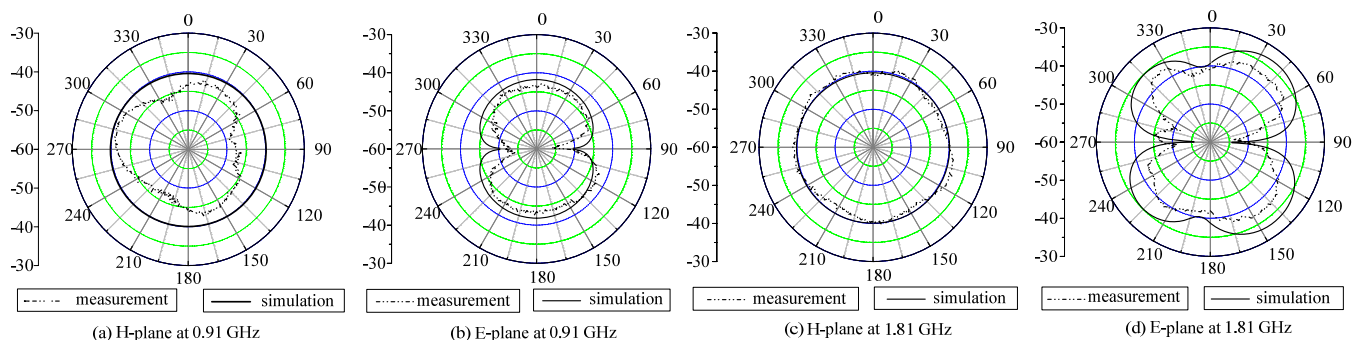


Fig.7 Measured and simulated radiation patterns for second order fractal antenna

图7 2阶分形天线仿真和测量方向图

3 结论

本文结合分形结构和自然树竞争算法的思想, 提出了通过生长因子结合天线尺寸控制分形天线高低谐振频率的方法, 设计了一种在设计阶段可以自由调节高频频率谐振点的天线使之工作在 GSM900/DCS1800 频段, 弥补了普通分形天线不易于自由调节高低谐振点之间位置关系的缺点。相比普通天线, 该树生长分形天线通过 FDTD

优化仿真,不仅可以自由获得良好的多频特性和辐射方向图,而且还能适当减小天线尺寸。本文依据上述方法设计并加工了该双频段的分形微带天线,能工作在 GSM900 和 DCS1800 频段,天线实测结果与仿真结果有较好的吻合,验证了本文提出的方法。

参考文献:

- [1] GUO Yong-Xin,TAN Hwee Siang. New compact six-band internal antenna[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004,3(1):295-297.
- [2] CHEN W S,Lee B Y,Chang P Y. A compact microstrip-line-fed slot antenna with dual-band notched for WIMAX operation[J]. PIER, 2010,16:13-23.
- [3] XU Liang,Michael Yan Wah Chia. Multiband characteristics of two fractal antennas[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1999,23(4):242-255.
- [4] 侯申茂,何焰蓝,罗建书. 分形天线多频性及应用探索[J]. 物理实验, 2010,30(4):43-45. (HOU Shen-mao,HE Yan-lan, LUO Jian-shu. Research on multiband of fractal antenna[J]. Physics Experimentation, 2010,30(4):43-45.)
- [5] Krishna D D, Gopikrishna M, Anandan C K. CPW-Fed Koch fractal slot antenna for WLAN/WIMAX applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008,7:389-392.
- [6] Thakare Y B, Rajkumar. Design of fractal patch antenna for size and radar cross-section reduction[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2010,4(2):175-181.
- [7] Werner D H,Ganguly S. An overview of fractal antenna engineering research[J]. Antennas and Propagation Magazine, 2003,45(1):38-57.
- [8] 冯文涛,张广求,屠振,等. Sierpinski 分形天线特性分析[J]. 现代雷达, 2007,2(5):79-81. (FENG Wen-tao,ZHANG Guang-qiu,TU Zhen,et al. Analysis of the characteristics of Sierpinski fractal antenna[J]. Modern Radar, 2007,2(5):79-81.)
- [9] 成学,黄卡玛. 一种新型微带端射平面树形天线的自动设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(6):665-668. (CHENG Xue,HUANG Ka-ma. Automated design of a novel microstrip plane tree-shaped antenna with end-fire characteristic[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(6):665-668.)
- [10] 赖晓铮,张小燕,赖声礼,等. 基于 Hilbert 分形结构的 RFID 标签天线[J]. 华南理工大学学报, 2006,34(6):25-28. (LAI Xiao-zheng,ZHANG Xiao-yan,LAI Sheng-li,et al. RFID tag antennas based on Hilbert fractal structure[J]. Journal of South China University of Technology: Natural science edition, 2006,34(6):25-28.)

作者简介:



樊磊(1989-),男,四川省眉山市人,在读硕士研究生,主要研究方向为电磁兼容.
email: leifanscu@126.com.

骆延(1987-),男,重庆市人,在读硕士研究生,主要研究方向为电磁兼容.

黄卡玛(1964-),男,重庆市人,博士生导师,教授,主要研究方向为电磁场理论、微波化学等.

杨阳(1983-),男,重庆市人,博士,讲师,主要从事微波测量、微波化学等方面的研究工作.