

新型平面树状分形天线小型化研究

曾宪峰 张 厚 徐海洋 程智峰

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

zengxianfeng521@163.com

摘 要: 根据仿生结构提出了一种新型平面树状分形天线。仿真和测试结果表明: 天线具有比 Manderlbort 分形天线更好的小型化特性。2 阶分形天线与单极子天线相比, 其谐振频率下降了 17.1%。当分支线角度与被加载线段之间夹角符合黄金分割率时, 其小型化程度最高, 为小型化天线的研究提供了新的思路。

关键词: 树状分形, 小型化, 分形天线

Research on a Novel Tree-shaped Fractal Compact Planar Antenna

ZENG Xian-feng, ZHANG Hou, XU Haiyang, CHENG Zhifeng

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan Shannxi 713800)

Abstract: Based on bionics structure, a novel tree-shaped fractal planar antenna is proposed. The simulated and measured results show that the extent of size-reducing of the antenna is better than the Manderlbort tree-shaped fractal antenna. The resonant frequency of the new two iterative fractal antenna is 17.1% lower the monopole antenna. When the angle between the embranchment and the loaded branch is fit for the golden section, the extent of size-reducing of the antenna is the best. This antenna can be widely used in compact structure antenna design.

Keywords: tree-shaped fractal; miniature; fractal antenna

1 引言

自法国数学家 B.Mandelbrot 于 1975 年提出“分形”这一概念以来, 分形电动力学就以一门新的学科得到了广泛的发展。分形天线正是分形电动力学的具体应用之一^[1]。

近年来, 作为分形天线的一个重要组成部分, 树状分形天线的研究受到了越来越多的关注。C.Puente 提出的分形树天线由于其尽量模拟树的形状而不易推广^[2]; J.P.Gianvittorio 和 D.H.Werner 等提出了一种更简单的树形天线, 做到了增加带宽和尺寸缩减^{[3][4][5]}; 文献[6]研究了树状分形天线的多频特性; 文献[7]、[8]研究了 Fibonacci 分形树天线的尺寸缩减特性; 文献[9]研究了树状分形天线的超宽带特性; 文献[10]通过对树状天线进行顶端加载实现了小型化; 文献[11]研究了单极子树状分形天

线的多频与尺寸缩减特性。

树叶作为自然界中树的重要组成部分, 也具有典型的分形结构。将叶状结构抽象设计即可得到本章所研究的新颖树状分形天线。本章首先介绍了新型树状分形天线的几何生成过程, 仿真结果表明, 新型天线具有良好的小型化特性, 2 阶分形天线与普通单极子天线相比, 其谐振频率下降了 17.1%。当分支线角度与被加载线段夹角符合黄金分割率时, 其小型化程度最高。对上述天线进行了实物加工与测量, 实验结果与仿真结果吻合良好。

2 天线的几何描述及设计

2.1 天线的几何描述

本文提出的新型叶脉状分形天线的结构如图 1 所示, 其迭代过程为: 将长度为 1 的单极子天线

(0 阶)三等分, 在每一等分点处向左右分别加载长度为 $1/3$ 的分支线, 分支线与天线臂的夹角为 β , 即得到 1 阶新型分形树天线, 如图 1- (b) 所示; 对 1 阶分形天线的每一段直线段再进行一次三等分加载分支线, 分支线与被加载线段之间的长度之比为 $a/3$ ($0 < a < 1$), 夹角为 β , 就得到 2 阶分形天线, 如图 1- (c) 所示。以此类推, 可以得到 n 阶分形天线。由于分支线长度不统一, 为准分形结构。文中统一称为分形结构。由于 2 阶以上分形结构复杂, 不易加工和实际应用, 因此文中分形阶数取为 2 阶。

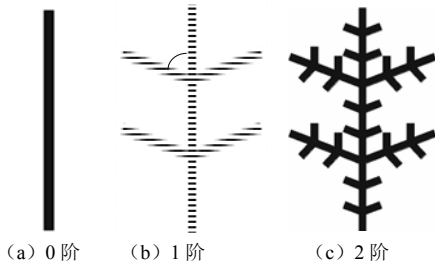


图 1 新型天线示意图

2.2 天线结构与设计

设天线长为 60mm, 宽为 1.9mm, $a=0.75$, 即 $a/3=1/4$, 印制在介电常数 $\epsilon_r=4.3$, 厚度为 1mm、介质损耗角正切 $\tan \delta=0.035$ 的环氧玻璃布板上, 介质板长 $L=100\text{mm}$, 宽 $W=50\text{mm}$, 采用微带线馈电, 微带线长为 20mm, 宽为 1.9mm, 与天线之间采用长为 h 的导带连接, 如图 2 所示。

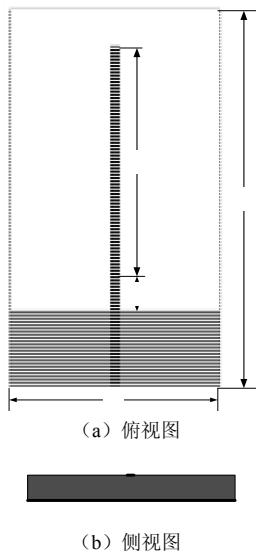


图 2 0 阶天线及馈电方式图

1 阶、2 阶分形天线馈电方式与 0 阶相同。对天线进行优化设计, 取 $h=10\text{mm}$, $\beta=69^\circ$ 。采用此种接地方式结构简单, 且对方向图、增益等影响较小, 有利于天线的集成与加工制作。

3 新型分形天线的小型化研究

3.1 新型分形天线的仿真

利用 HFSS 11 软件对分别对 0~2 阶天线 ($\beta=90^\circ$, $a=0.75$) 进行仿真, 其反射系数 S_{11} 仿真结果比较如图 3 所示, 可得随着分形阶数的增加, 新型天线的谐振点频率不断降低, 但下降的幅度急剧变缓, 这与 Manderlbort 树状分形天线在尺寸缩减性上的表现是相似的^[7]。这也说明利用分形进行尺寸缩减是有限度的。

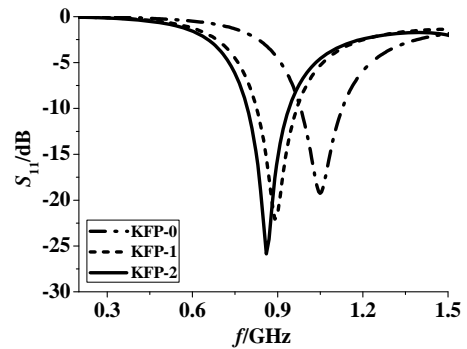


图 3 新型树状分形天线 S_{11} 仿真结果

将传统 Manderlbort 树状分形天线以相同的尺寸在相同条件下进行仿真, 仿真结果与新型树状天线仿真结果比较如表 1 所示。

表 1 新型天线与 Manderlbort 分形天线 S_{11} 结果比较

对比项	0 阶	1 阶	2 阶
新型天线 f_1 (S_{11})	1.05GHz (-19.2dB)	0.90 GHz (-20.2dB)	0.87GHz (-22.1 dB)
Manderlbort 树 状分形天线 f_1 (S_{11})		0.95GHz (-17.6 dB)	0.92 GHz (-23.8dB)

由表 1 可得, 在分形阶数同为 2 阶时, 新型树状分形天线谐振频率比传统 Manderlbort 树状分形天线低 50MHz, 谐振频率降低了 5.4%, 即具有更

强的尺寸缩减性。2 阶分形天线与 0 阶相比，谐振频率降低了 17.1%。1~2 阶分形天线方向图仿真结

果如图 4 所示。

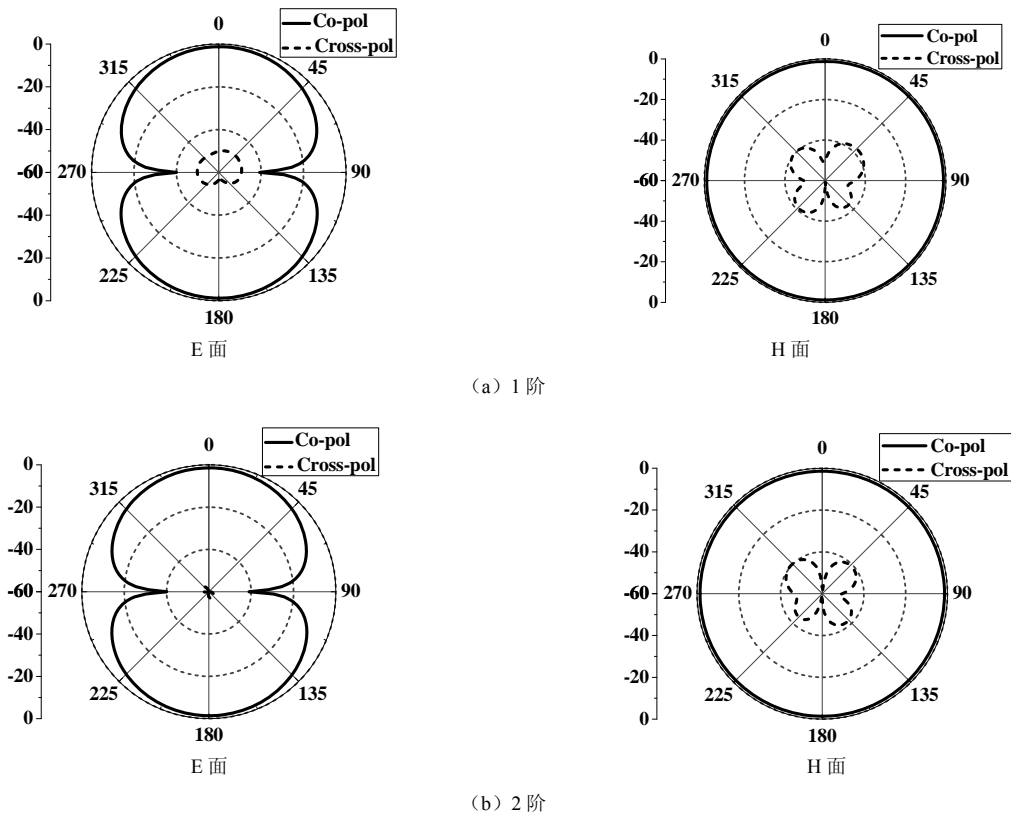


图 4 新型树状分形天线方向图仿真结果

由图 4 可得，随着分形阶数的提高，新型天线的方向图基本相同。但是 2 阶分形天线交叉极化更小，即在文中所示馈电方式下，交叉极化随着分形阶数的提高逐渐降低。

3.2 1 阶分形天线分支线夹角 β 对天线性能的影响

新型树状分形结构有一个重要的几何参数，分支线之间的夹角 β 。固定 1 阶分形天线其他参数不变，调整其分支线夹角 β 的大小，对天线 S_{11} 影响如表 2 所示。

由表 2 可得，当天线分支线角度变化时，其谐

振频率随之变化，当 $\beta=68.7^\circ$ 时，谐振频率最低，为 0.89GHz。而 $\beta=68.7^\circ$ 符合黄金分割律。自然界中的树无论树枝还是叶脉，其分支角度都符合黄金分割律，为的是在最小的体积内吸收最多的阳光。而将分支线角度定为 $\beta=68.7^\circ$ ，其谐振频率最低，即其小型化程度最高。天线的设计可以用自然界中的规律来指导。而当角度变化时，对方向图影响较小，文中不再赘述。

3.3 加工与测试

对上述天线进行加工制作和测试，实物图如图 5 所示；反射系数 S_{11} 的测试结果如表 3 所示。

表 2 β 对 S_{11} 影响结果

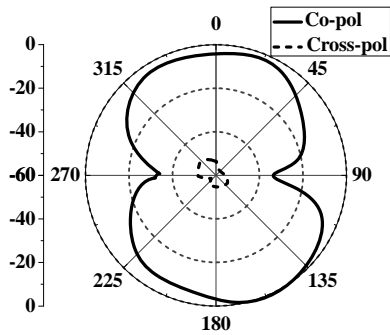
对比项	30	45	68.7	90	112.3	135	150
f_1 (GHz)	0.91GHz	0.90GHz	0.89GHz	0.90GHz	0.92GHz	0.93GHz	0.96GHz
S_{11} (dB)	(-12.9 dB)	(-15.3 dB)	(-20.2 dB)	(-22.1 dB)	(-19.7 dB)	(-26.9 dB)	(-17.6dB)



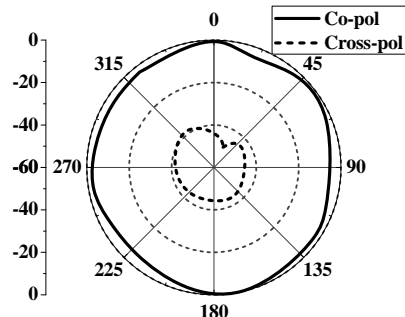
图5 天线实物图

表3 天线 S_{11} 测试结果

对比项	0阶新型 天线	1阶新型 天线	2阶新型 天线	2阶 Manderlbort 天线
$f_1 (S_{11})$	1.06GHz (-25.1dB)	0.90GHz (-24.2dB)	0.86GHz (-24.3dB)	0.92GHz (-23.7dB)



(a) E面



(b) H面

图8 2阶新型树状分形天线方向图测试结果

4 结论

作为一种新型树状分形天线，文中所设计的天线对小型化天线的设计具有较大的参考价值。在分形阶数同为2阶时，新型树状分形天线谐振频率比传统 Manderlbort 树状分形天线低 50MHz，谐振频

率降低了 5.4%，即具有更强的尺寸缩减性。2阶分形天线与0阶相比，谐振频率降低了 17.1%，还研究了小型化与黄金分割率之间的关系。在天线设备日益小型化的今天，该天线具有广阔的应用前景。

由表3可得，测试结果与仿真结果基本保持一致，部分频点有所偏移，也在允许范围内，原因可能为测试条件不理想和加工精度不够精确导致的。对天线方向图进行测试，由于文中天线方向图测试结果与仿真结果相差不大，且各阶天线方向图也十分相似，只给出2阶新型树状分形天线测试结果，如图8所示。可得天线方向图与仿真结果基本符合，交叉极化值比仿真结果稍大，应为加工和测试误差所致。

率降低了 5.4%，即具有更强的尺寸缩减性。2阶分形天线与0阶相比，谐振频率降低了 17.1%，还研究了小型化与黄金分割率之间的关系。在天线设备日益小型化的今天，该天线具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 陈文灵.分形几何在微波工程中的应用研究[D].西安:空军工程大学博士学位论文,2008年12月.
- [2] C.Puente and J.Claret. Multiband properties of a fractal tree antenna generated by electrochemical deposition [J]. Electronics Letters, 1996, 32 (25) : 2298-2299.
- [3] J. P. Gianvittorio. Fractal Antennas: Design, characterization and applications [D]. Los Angeles: Master's Thesis of University of California, 2000.
- [4] D. H. Werner, A. R. Bretones, and B. R. Long. Radiation characteristics of thin-wire ternary fractal trees [J]. Electronics Letters, 1999, 35 (8) : 609-610.
- [5] J. S. Petko and D. H. Werner. Miniature reconfigurable three-dimensional fractal tree antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52 (8) : 1945-1956.
- [6] Renzo Azaro, Edoardo Zeni, Tommaso, and et all...Synthesis of a three-dimensional triband (L_1 - L_2 GPS and Wi-Fi) prefractal tree antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49 (9) : 2114-2118.
- [7] 赖晓铮, 刘焕彬, 张瑞娜等.基于分形结构的纸基 RFID 标签天线研究[J]微波学报, 2008, 4 (3) : 36-39.
- [8] Basak Ozbokis and Alp Kustepeli The resonant behavior of the Fibonacci fractal tree antennas [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50 (4) : 1046-1050.
- [9] Jong K Park, Hee S.An, and Jung N.Lee. Design of the Tree-shaped UWB antenna using fractal concept [J] Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50 (1) : 144-150.
- [10] 阮成礼, 王春.小型化准分形加载单极子天线[J].电波科学学报, 2006, 21 (5) : 727-730.
- [11] Xu Liang and Michael Yan Wah Chia. Multiband characteristics of two fractal antennas [J].Microwave and Optical Technology Letters. 1999, 23 (4) : 242-245.