

DOI:10.3785/j.issn.1006-754X.2010.05.015

# 新型古币形超宽带分形印刷天线的设计

曾宪峰<sup>1</sup>, 张晨新<sup>1</sup>, 曾会勇<sup>1</sup>, 谢聪<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 西安交通大学 理学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:**共面波导和分形结构结合应用,在展宽天线带宽方面具有独特优势。提出了一种新型古币形超宽带分形天线,采用共面波导馈电,并加载分形缝隙,天线的阻抗带宽大幅提高。给出了天线的表面电流、回波损耗、方向图和增益结果。对3阶分形天线进行了加工与测试,测试结果表明,天线带宽达到2.6~16 GHz,带宽比大于6:1。仿真结果与测试结果基本吻合,为超宽带小型化天线的设计提供了新的思路。

**关键词:**超宽带天线;分形;共面波导

中图分类号:TN 82

文献标志码:A

文章编号:1006-754X(2010)05-0392-04

## Design of a novel copper-cash-shaped ultrawideband fractal printed antenna

ZENG Xian-feng<sup>1</sup>, ZHANG Chen-xin<sup>1</sup>, ZENG Hui-yong<sup>1</sup>, XIE Cong<sup>2</sup>

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China;

2. School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** CPW and fractal structure used together in antenna design have unique advantages in broadening the bandwidth of the antenna. A novel copper-cash-shaped ultrawideband (UWB) fractal antenna was proposed. By using fractal slot, the CPW-fed antenna had a wide bandwidth. Surface current distribution, return loss, directional patterns and gain of the antenna were investigated. Three iterative fractal antenna was fabricated and measured. The measured results show that the bandwidth is 2.6-16 GHz, larger than 6:1, and found in good agreement with the simulated results. Thus this antenna can be widely used in compact structure and UWB antenna design.

**Key words:** UWB antenna; fractal; CPW-fed

近年来,随着超宽带(ultrawideband, UWB)技术的迅速发展,对超宽带天线的实际应用需求越来越大,超宽带小型化天线已经成为天线研究的一个重要分支。超宽带天线在无线通信、无线接入、电子对抗等系统都有着广泛的应用。2004年美国联邦通信协会(FCC)批准将3.1~10.6 GHz的频段用于民用<sup>[1]</sup>。如何在这一频段内实现天线的超宽带和小型化,已成为国内外学者研究的热点之一。

印刷天线由于质量轻、平面结构易于集成而得到广泛应用。传统展宽带宽的方式主要是通过采用

厚基片、共面寄生贴片、电磁耦合馈电以及微带线开槽等<sup>[2]</sup>。最近几年,采用分形结构是较为流行的方式<sup>[3-4]</sup>;共面波导馈电的印刷天线具有大带宽、容易阻抗匹配、辐射损耗小和易于与有源器件集成等优点,也得到了越来越多的应用<sup>[5-6]</sup>。

本文采用一种展宽印刷天线带宽的新方法,即:将分形与共面波导馈电相结合,充分利用2种结构的优点,对天线参数进行优化,实现天线的宽频工作<sup>[7-8]</sup>。测试结果表明,天线阻抗带宽达到2.6~16 GHz,带宽比大于6:1。

收稿日期:2009-12-24。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60971118)。

作者简介:曾宪峰(1985—),男,山东济宁人,硕士生,从事天线、电磁兼容与电波传播等研究, E-mail: zengxianfeng521@163.com。

通信联系人:张晨新,教授,硕士生导师, E-mail: zcx\_1969@163.com。

## 1 天线结构与设计

新型古币形分形天线结构如图 1 所示(其中黑色是金属部分):在圆形贴片内作内接正方形开缝,即为 0 阶分形天线,如图 1(a)所示;在此结构上作正方形的内接圆,再在圆内作内接正方形开缝,即为 1 阶分形天线,如图 1(b)所示;以此类推,可以得到  $n$  阶分形天线。理想分形结构的分形阶数可以为无穷大,但随着分形阶数的增加,天线的复杂程度加大,且多次分形不易于加工和实现。结合仿真结果,本文的分形阶数定为 3 阶。

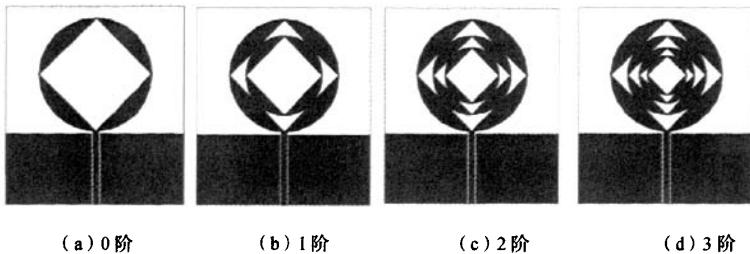


图 1 古币形超宽带分形天线示意图

Fig. 1 Geometries of the copper-cash-shaped fractal antenna

采用介电常数  $\epsilon_r = 2.2$ , 厚度  $h = 1$  mm, 介质损耗角正切  $\tan \delta = 0.004$  的聚四氟乙烯玻璃布板

作为介质板材料, 共面波导的阻抗设计为  $50 \Omega$ 。天线参数如图 2 所示, 参数优化结果见表 1。

表 1 天线参数优化值

Table 1 Optimized parameters of the antenna

参数	M	N	H	G	L	W	S	h	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
量值	40	45	15	0.3	19	1.4	0.5	1	25	17.6	12.5	8.9

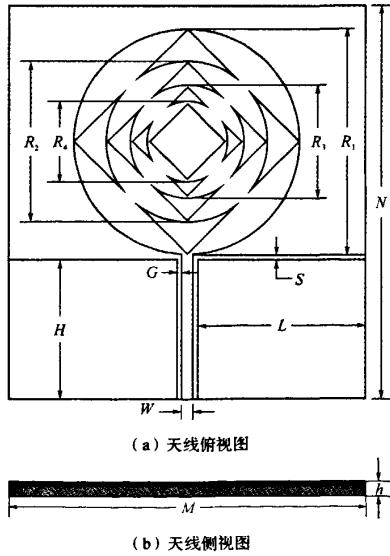


图 2 天线参数示意图

Fig. 2 Sketch of the antenna parameters

采用 Ansoft 公司 HFSS 软件分别对上述分形天线进行仿真, 图 3 给出了 3 阶分形天线在  $f = 3$  GHz 表面电流的分布图。由图 3 可以看出, 天线表面电流强度边缘高、中间低, 所以, 在天线的中间开缝对表面电流强度造成的影响很小, 但是电流流过

的路径变长了。也就是说, 天线的谐振频率会降低, 即实现天线的小型化。同时, 分形结构的自相似性使天线出现更多的谐振点, 通过对天线的尺寸进行优化, 相邻谐振点之间的距离减小, 从而实现了天线的超宽带特性。

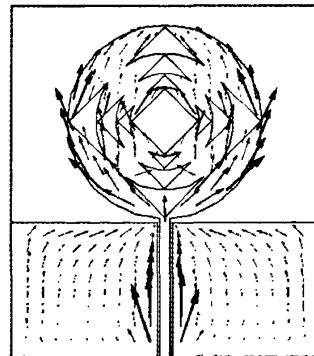


图 3  $f=3$  GHz 时 3 阶分形天线表面电流分布图

Fig. 3 Distribution of the three iterative fractal antenna's surface current when  $f=3$  GHz

图 4 给出了天线的回波损耗  $S_{11}$  曲线, 可得: 随着分形阶数的不断提高, 天线的带宽基本不变, 非可用频带逐渐缩小, 当分形阶数为 3 时, 在 2.2~15.8 GHz 频带内  $S_{11} < -10$  dB, 从而满足了宽频带的要求。

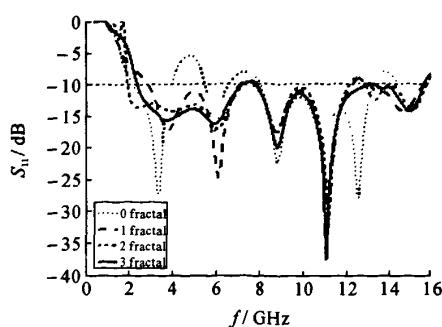
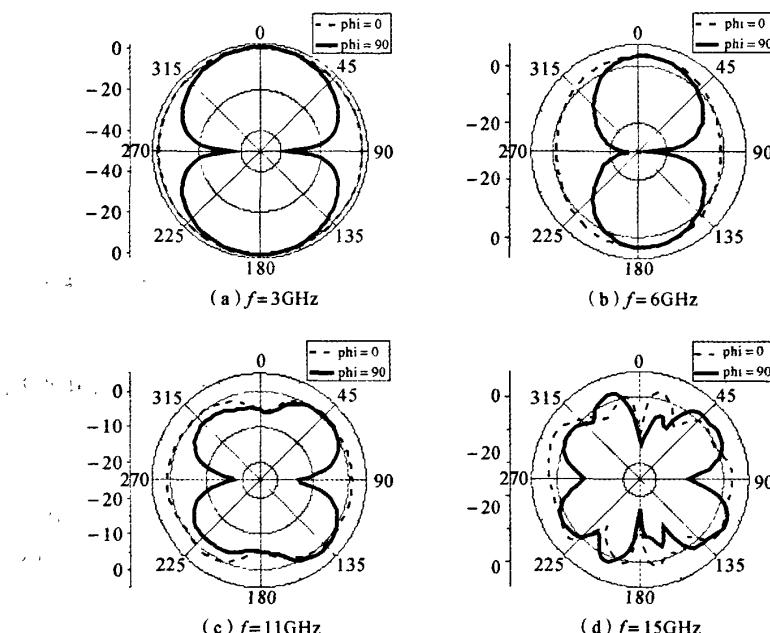
图 4 回波损耗  $S_{11}$  随分形阶数变化示意图Fig. 4 Sketch of change of  $S_{11}$  over fractal order

图 5 3 阶分形天线方向图仿真结果

Fig. 5 Simulation results of radiation patterns of the three iterative fractal antenna

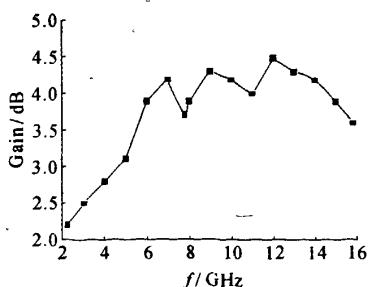


图 6 3 阶分形天线增益仿真结果

Fig. 6 Simulation result of gain of the three iterative fractal antenna

图 5 给出了 3 阶分形天线分别在 3, 6, 11, 15 GHz 的方向图仿真结果。由图 5 可以看出, 在低频范围内天线辐射方向图与单极子天线基本一致, 随着频率的升高, 天线辐射性能变差, 但在频带范围内基本仍为全向辐射, 原因可能为随着频率的提高, 天线的高次模被激起, 从而造成了方向图的形状变化。图 6 为天线增益仿真结果。由图 6 可得, 天线增益均大于 2.2 dB。因此, 该天线适用于移动通信。

## 2 实验测量与结果分析

对所设计的 3 阶分形超宽带天线进行了加工与测试, 天线实物如图 7 所示; 回波损耗  $S_{11}$  的测试结果与仿真结果比较如图 8 所示; 在 3, 6, 11, 15 GHz 频点上方向图测试结果如图 9 所示。

由图 8 可得, 天线实测带宽为 2.6~16 GHz, 工作频带与仿真结果相比向高频偏移了约 0.4 GHz, 在 7~8 GHz 内回波损耗最大值为 -9.7 dB, 分析其原因应为加工焊接误差造成的。测量结果与仿真结果基本一致。由图 9 的方向图测试结果可得, 天线的增益有所降低, 方向图变化不大。

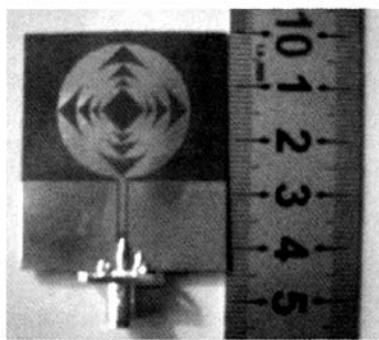


图7 天线实物图

Fig. 7 Photograph of the three iterative fractal antenna

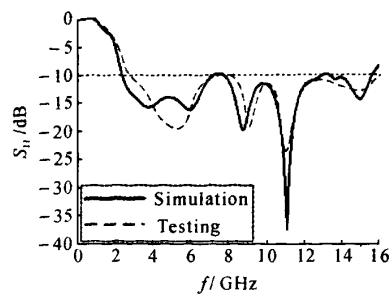
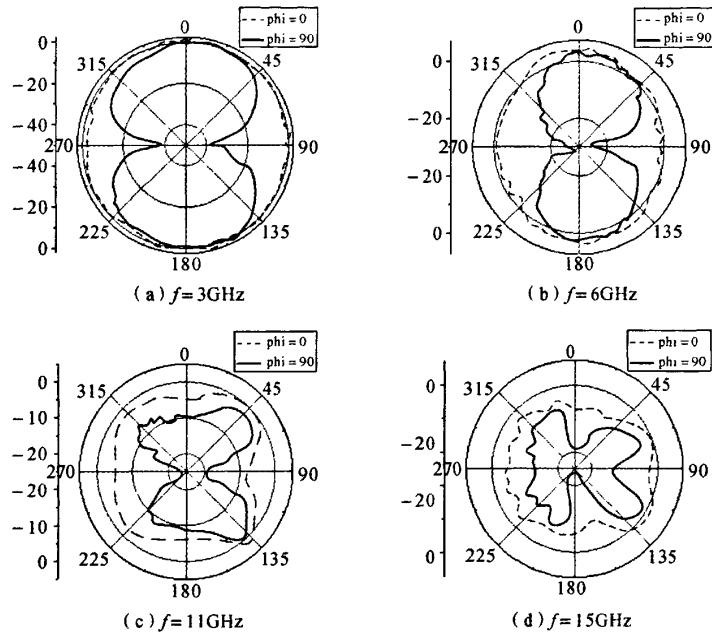
图8 回波损耗  $S_{11}$  的测试结果与仿真结果比较Fig. 8 Testing results and simulation results of  $S_{11}$ 

图9 3阶分形天线方向图测试结果

Fig. 9 Testing results of radiation patterns of the three iterative fractal antenna

### 3 结束语

本文提出了一种新型古币形超宽带分形天线,采用共面波导馈电,并加载分形缝隙,实现了天线的超宽带特性。通过加工与测量,得出测试结果与仿真结果基本吻合。新型超宽带天线的阻抗带宽为2.6~16 GHz,带宽比大于6:1,涵盖了3.1~10.6 GHz的频率范围,带宽范围内天线增益大于2.2 dB,达到了移动通信天线应用的要求。与普通超宽带天线相比,结构更简单,更容易实现。因此,该天线在移动通信等领域具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 钟顺时,梁仙灵,延晓荣.超宽带平面天线技术[J].电波科学学报,2007, 22(2): 308-314.  
ZHONG Shun-shi, LIANG Xian-ling, YAN Xiao-rong. UWB planar antenna technology[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(2): 308-314.
- [2] 姚凤薇.超宽带印刷缝隙和空气介质天线的研究[D].上海:上海大学通信与信息工程学院,2006: 2-7.  
YAO Feng-wei. Research on ultra-broadband printed slot and air substrate antennas[D]. Shanghai: Shanghai University, College of Communication and Information Engineering, 2006: 2-7.

(下转第400页)

## 5 结 论

经理论分析可以发现,本套机构工作可靠,结构新颖. 同基体双层结构,在解决二维精密角度微调的同时,实现了机构的小型化设计;小曲率大圆弧面和小倾角平面组成的角度微调结构以及大刚度弹簧和紧固螺钉组成的锁紧结构,能够保证微调机构的高精度微调和高稳定性工作;采用贯通轴直线电机解决手动和自动模式的双重控制. 该机构各部件受力小,调节轻便,设计巧妙,在能达到高的调节精度的基础上,还具有制造成本低廉、结构简单、体积小等优点,对同类微调机构的设计具很高的参考价值,能够在军事、航空、航天及现代精密机械电子设备领域得到广泛应用.

## 参考文献:

[1] 史雅莉, 高云国, 邓国杰, 等. 新型光轴平行度装调仪的设计与分析[J]. 激光与红外, 2007, 7(10): 1098-1104.  
SHI Ya-li, GAO Yun-guo, DENG Guo-jie, et al. Design and analysis of a novel assistant alignment for optical-axis parallelism [J]. Laser and Infrared, 2007, 7(10): 1098-1104.

[2] 廉明. 高精度大通光口径反射镜架微驱动组件的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学机电工程学院, 2006: 10-14.  
LIAN Ming. The research of high precision large caliber reflective mirror micro drive equipment [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, School of Mechatronics

[3] 耿记波, 高云国, 吴延巽. 大型光电设备动基座自动支撑调平方法及结构[J]. 工程设计学报, 2007, 14(5): 383-387.  
GENG Ji-bo, GAO Yun-guo, WU Yan-xun. Study on method and configuration for automatic supporting and leveling of big-scale photoelectric equipment's moved-groundwork [J]. Journal of Engineering Design, 2007, 14(5): 383-387.

[4] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 229-232.  
LIU Hong-wen. Mechanics of materials[M]. Beijing: Higher Education Press, 1991: 229-232.

[5] 张倩, 高云国, 史雅莉, 等. 高精度无导轨位移平台的结构设计[J]. 工程设计学报, 2008, 15(5): 378-381.  
ZHANG Qian, GAO Yun-guo, SHI Ya-li, et al. Structure design of precise displacement platform without guide apparatus [J]. Journal of Engineering Design, 2008, 15(5): 378-381.

[6] 易声耀, 潘存云. 一种新型移动平台的传动系统设计与分析[J]. 机械设计, 2007(5): 21-25.  
YI Sheng-yao, PAN Cun-yun. Design and analysis on the transmission system of a kind of novel moving platform [J]. Journal of Machine Design, 2007(5): 21-25.

[7] 叶云岳. 直线电机原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 166-174.  
YE Yun-yue. Theory and application of linear motion actuator [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2000: 166-174.

(上接第 395 页)

[3] 穆丹, 姜弢. 一种矩形分形超宽带天线的研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(1): 84-87.  
MU Dan, JIANG Tao. Research on a new rectangle fractal UWB antenna[J]. Equipment Environment Engineering, 2008, 5(1): 84-87.

[4] PARK Jong K, AN Hee S, LEE Jung N. Design of the tree-shaped UWB antenna using fractal concept[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(1): 144-150.

[5] 金骏, 钟顺时. 具有带阻功能的超宽带印刷天线[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2007, 13(2): 111-115.  
JIN Jun, ZHONG Shun-shi. Ultra-wideband printed antenna with band-notch function[J]. Journal of Shanghai University: Natural Science, 2007, 13(2): 111-115.

[6] YAO Feng-wei, ZHONG Shun-shi. Broadband and high-gain microstrip slot antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2006, 48(11): 2210-2212.

[7] LEE Yi-chieh, SUN Jwo-shiun, LIN Syuan-ci. Wideband fractal printed monopole antennas[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 9(6): 1267-1272.

[8] DING Min, JIN Rong-hong, GENG Jun-ping, et al. Design of a CPW-fed ultra-wideband fractal antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(1): 173-176.

## 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](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>