

# 一种新型加载 Sierpinski 垫片天线的设计

杨跃胜<sup>1,2</sup>, 武岳山<sup>1,2</sup>, 熊立志<sup>2</sup>, 李 曼<sup>1,2</sup>

(1. 西北大学 信息科学与技术学院, 陕西 西安 710127; 2. 深圳市远望谷信息技术股份有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘 要:**提出一种新型分形结构加载的 Sierpinski 垫片天线。该天线采用新型加载技术并充分利用了此新型结构的空间自填充能力。结果表明,此新型分形结构加载的 Sierpinski 垫片天线比 Koch 分形加载更能缩减天线的尺寸,并且能降低谐振频率,具有宽频带特性,可以实现 Sierpinski 分形天线的小型化、多频段特性。

**关键词:**Sierpinski 垫片天线; RFID; 宽频带; 小型化

**中图分类号:**TN82-34

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-373X(2010)21-0076-03

## Design of Novel Loaded Sierpinski Gasket Antenna

YANG Yue-sheng<sup>1,2</sup>, WU Yue-shan<sup>1,2</sup>, XIONG Li-zhi<sup>2</sup>, LI Man<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Science & Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Inveno Information Technology Co. Ltd., Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** A novel fractal loaded Sierpinski gasket antenna is proposed in this paper. It adopts new loading technology and makes full use of the space-filling capability of the novel structure. The results indicate that this novel loaded fractal Sierpinski gasket antenna has much smaller size and lower resonant frequency than Koch fractal loaded antenna, possesses the wide-band characteristic, and can realize the miniaturization and multi-band characteristic of Sierpinski gasket antenna.

**Keywords:** Sierpinski gasket antenna; RFID; wide-band; miniaturization

## 0 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是20世纪90年代兴起的一项自动识别技术<sup>[1]</sup>。该技术利用无接触方式获取目标信息,并与目标信息进行双向通信。由于其无接触的工作特性,它被称为第三代自动识别技术。一个自动识别系统有两个部分组成:读写器和电子标签。天线在读写器和电子标签中间担当着十分重要的作用,它是两者之间实现非接触双向通信必不可少的器件。天线被用来发射和接收信号,并且担当着电子标签芯片中耦合能量的重要作用。所以电子标签天线设计的好坏直接影响着系统的工作距离以及使用范围<sup>[2]</sup>。

在 RFID 系统应用中,电子标签天线需要附着在需要识别的物体上,作为识别物品的身份象征,并且由于被识别物体的多样性,人们对电子标签天线提出了更高的要求,主要体现在宽频带、小型化、便于安装和携带,同时要求天线有高的效率<sup>[3]</sup>。天线设计很大程度依赖天线的频率,有些类型的天线具有很宽的带宽,如螺旋天线。这种天线从某种意义上来说是分形天线的自相似性具体化,分形天线的自相似性对于电子标签天线的设计具有具有重要意义<sup>[3]</sup>。

分形天线是一种新型天线,它将分形几何应用于天

线,完全不同于传统意义上的欧式几何天线。分形结构的高度空间自填充特性可以转变为分形天线的小型化特征,例如 Koch 分形天线、Hilbert 分形天线、Minkinski 分形天线等。分形结构的自相似性可以转变为分形天线的多频段特性,典型的有 Sierpinski 分形天线。

本文提出了一种新型分形天线加载的 Sierpinski 垫片天线,与传统天线相比,此天线充分利用了新型分形结构的高度自填充性以及 Sierpinski 分形天线的多频段特性,从而实现了一种新型的小型化、多频段分形天线。

## 1 分形结构的几何描述和天线生成

分形结构的天线构造形式很多,本文采用两点格式法进行构造新型分形天线<sup>[4]</sup>。先定义一个初始元和一个生成元,初始元给定了分形图形的框架,生成元给定了新型分形天线的构造方法。此新型分形天线的初始元和生成元如图1所示。

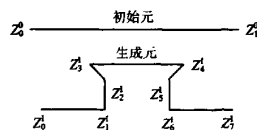


图1 新型分形结构的初始元和一阶生成元

图1中符号的上标代表迭代次数,下标代表坐标点。选取:

$$\begin{aligned}Z_0^1 Z_1^1 &= Z_1^1 Z_0^1 = Z_0^1 Z_1^1 = Z_0^0 Z_1^0 / 3 \\ Z_1^1 Z_2^1 &= Z_2^1 Z_1^1 / 6 \\ Z_2^1 Z_3^1 &= Z_3^1 Z_2^1 / 2 \\ Z_2^1 Z_3^1 &= Z_1^1 Z_0^1 = \sqrt{2} Z_0^0 Z_1^0 / 12 \\ h &= k Z_0^0 Z_1^0 = Z_0^0 Z_1^0 / 4\end{aligned}$$

(1)

式中： $k=1/4$  为分形凹入的宽度。  
由分形理论可以知道，该新型分型结构的分形维数  $D$  取决于以下方程：

$$2(1/3)^D + 2(1/6)^D + (1/2)^D + 2(\sqrt{2}/12)^D = 1 \quad (2)$$

通过 1 阶生成元的迭代过程，可以进行再次迭代得到 2 阶及 3 阶生成元。虽然此新型分形曲线具有与 Koch 分形结构相同的迭代特性以及空间填充特性，但是分形迭代在实际中不可能无限制的迭代下去，研究发现，此新型曲线在降低谐振频率上有一个极限值，一般在 5 阶以上性能就不明显了，这里称之为分形极限。同时，由于现代制造工艺的限制，一般分型天线都在 5 阶以下。

此新型分形曲线同 Koch 分形曲线有很多相似之处，1 阶新型分形曲线比 1 阶 Koch 曲线长 30.18%，2 阶新型分形曲线比同阶的 Koch 曲线长 1.44 倍，而且具有分形天线的特性。由此可以说明，此分形天线具有比 Koch 分形结构更强的自填充能力，用在天线设计中可以实现更长的电流有效路径，从而降低谐振频率，实现天线的小型化<sup>[5]</sup>。

2 Sierpinski 分形天线

Sierpinski 三角形是由波兰数学家 Sierpinski 提出的一种分形结构，图 2 显示了使用迭代函数系统 (IFS) 构造 Sierpinski 分形天线的过程<sup>[6]</sup>，它的分形维数为： $D=\ln 3/\ln 2=1.58$ 。

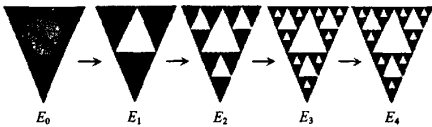


图 2 Sierpinski 分形天线迭代生成过程

2.1 Sierpinski 分形结构的边长对天线性能的影响

对于 Sierpinski 分形天线，这里研究了角度均为 60°，比例因子均为 0.5 时，三角形的边长分别为 48 mm、56 mm、60 mm 时，基于 0 阶和 1 阶的偶极子天线性能。天线结构如图 3 所示。利用 HFSS 11.0 进行仿真，其中 1 阶分形结构仅列出低频谐振频率，仿真结果如表 1 所示。

表 1 仿真结果表明：在天线比例因子不变，角度不变的条件下，随着边长的增长，谐振频率、谐振深度、带宽 BW (VSWR<2) 均在逐渐减小。这是由于增益虽然

变化不是十分明显，但是依然可以看出边长为 60 mm 时天线的增益最大，这有益于天线校正。总之，基于 Sierpinski 分形结构的天线的第一谐振频率与天线的周长和高度有关。在保持天线的周长和高度不变的条件下，阶数的变化不会影响第一谐振频率点。

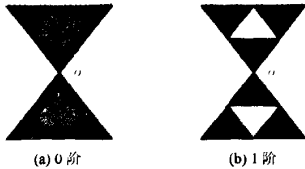


图 3 Sierpinski 偶极子天线

表 1 Sierpinski 天线仿真参数

Sierpinski 天线 仿真结果	48 mm		56 mm		60 mm	
	0 阶	1 阶	0 阶	1 阶	0 阶	1 阶
谐振频率 $f/\text{GHz}$	1.08	1.05	0.93	0.91	0.86	0.86
谐振深度 /dB	-29	-19.5	-18	-15.8	-17	-13.3
BW /MHz	220	165	145	120	130	105
增益 $G/\text{dB}$	2.222 5	2.175 7	2.236 7	2.262 7	2.260 5	2.263 8

2.2 角度不同，对天线性能的影响

对于 0 阶 Sierpinski 分形天线而言，其实它就是两块三角形的平板，三角形板型天线为宽频带天线，这里研究当其两条边相同，但其所夹角不同时，天线的性能。天线的边长为 60 mm 时，所夹角分别为 30°、60°、90°，由 HFSS 11.0 仿真得其天线性能如表 2 所示。

表 2 0 阶 Sierpinski 分形天线的仿真参数

0 阶 Sierpinski 天线	30°	60°	90°
谐振频率 $f/\text{GHz}$	0.86	0.86	0.87
增益 $G/\text{dB}$	2.388 0	2.260 5	2.094 3

从表 2 的仿真结果可以看出，角度为 30° 时，其天线的增益最大，同时，无论是角度大小，其谐振频率基本上是不变的。这是因为，对于 Sierpinski 垫片分天线而言，电流主要沿着三角形的两条边流动，而此时天线的边长都相等，所以谐振频率基本不变。

2.3 比例因子对天线性能的影响

文献[7]中比较了张角  $\theta=60^\circ$  不变的条件下，比例因子  $\delta$  分别为 1.5 和 1.67 对 Sierpinski 分形天线谐振频率的影响。结果表明随着比例因子  $\delta$  的减小，天线的谐振频率将向低频端移动。每种天线相邻谐振频率间的比率除第一个以外，均与其各自的比例因子值基本相同。谐振频率间的第一个比值相对偏大，这是因为在天线的低频段，电流分布于整个天线表面，天线的终端效应比较强的缘故。研究表明 Sierpinski 分形天线迭代次数的增加，会出现多个谐振频率点，且第一个谐振频率点与三角形的高度有关，辐射方向图与天线在空间的分布有关，而与天线的迭代次数没有关系。同时也给出，当角度减小到

一定程度时,天线的多频段特性均不明显。

### 3 新型分形加载的 Sierpinski 垫片天线

基于以上分析,设计出一款谐振在 915 MHz 新型加载 Sierpinski 垫片偶极子天线,此天线采用 NXP G2XM 标签芯片,其参数为在 915 MHz 时,芯片对外呈现阻抗为  $22 - j195 \Omega$ ,天线的大小为  $96 \text{ mm} \times 54 \text{ mm}$ ,它由顶角为  $60^\circ$  的 1 阶 Sierpinski 分形和顶角为  $30^\circ$  的 0 阶 Sierpinski 分形组成,在 1 阶 Sierpinski 分形天线的两边加载新型分形天线,中间点为馈电点。天线模型如图 4 所示。



图 4 天线模型图

此天线利用新型分形加载 Sierpinski 天线,由于 Sierpinski 天线的电流主要沿着三角形的两条边流动,在三角形的两条边上加载新型分形天线,有效延长了电流的有效路径,进而可以降低天线的谐振频率。同时,新型加载从另一个角度来说,在角度不变的条件下,使三角形的高度增加,有效延展天线电流有效路径,减小了天线的大小。利用夹角为  $30^\circ$  的 0 阶 Sierpinski 垫片天线高增益、宽频带特性,在谐振频段内实现了比较深的谐振深度,使得驻波比更小。通过 HFSS 11.0 仿真,天线的增益方向图如图 5 所示,图 6 为回波损耗曲线及驻波比曲线。

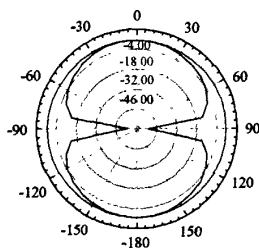


图 5 天线增益方向图

从图 5 和图 6 中可以看出,在 915 MHz,天线的谐振深度为  $-34 \text{ dB}$ ,其驻波比为 1.05,天线的增益为  $2.28 \text{ dB}$ ,在  $\text{VSWR} < 2$  时,带宽为  $190 \text{ MHz}$ ,相对带宽达到  $20.8\%$ 。在  $902 \sim 928 \text{ MHz}$  时,天线的驻波比均在 1.15 以下。

在天线的设计中,新型分形天线的宽度对谐振深度的影响比较大,考虑到工业应用的要求以及谐振深度的因素,此天线的宽度为  $0.2 \sim 1 \text{ mm}$ ,同时,天线宽度的

增大,也能微弱地降低谐振频率。天线的宽度做得过宽,对新型分形天线的迭代次数受到限制,正如前文所说,虽然理论上可以无限迭代,但是一般在 5 阶以下,迭代次数再增加,影响将不明显。

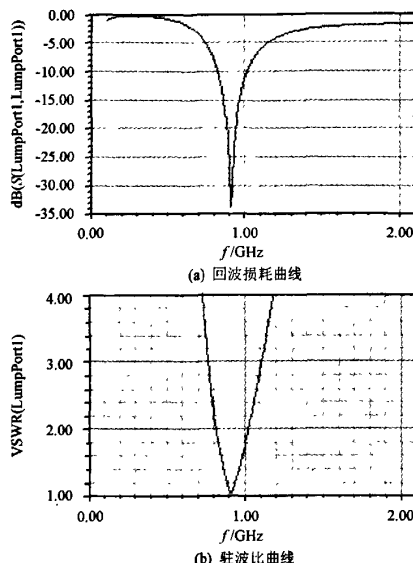


图 6 回波损耗( $S_{11}$ )曲线及驻波比(VSWR)曲线

高阶新型分形加载 Sierpinski 垫片天线,能极大地降低高频端的谐振频率。对 2 阶新型分形加载天线,甚至能将高频端的谐振频率降低  $3 \text{ GHz}$  以上,同时保持天线的辐射方向图基本不变。实际中高阶分形天线的宽度应该在  $0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$ ,这将严重影响低频端的谐振频率的谐振深度,尤其是第一谐振频率,但对高频端的谐振频率将产生很好的效果,使得更加小型化、多频段的天线得到实现。

### 4 结语

介绍了一款新型的分形天线,它比 Koch 分形具有更强的空间自填充能力,同时分析了 Sierpinski 垫片分形天线性能的影响因素:三角形的边长、角度和比例因子。在此基础上,设计了一款新型分形加载的 Sierpinski 垫片天线,它充分利用了新型分形天线的空间填充能力,延长了 Sierpinski 分形天线的电流有效路径,增大了谐振波长,从而降低谐振频率,减小天线的尺寸,达到了极深的谐振深度。在无线电设备要求日益小型化的今天有着实际的价值。

### 参考文献

- [1] FINKENZELLER Klaus. 射频识别(RFID)技术[M]. 陈大才,译. 北京:电子工业出版社,2001.

(下转第 82 页)

该 GPS 模块动态定位性能还是比较好的,可以用于较准确的实时导航。

综合静态和动态测试结果表明,使用的新月-HC12A GPS 模的圆概率误差半径(CEP)最大值为 0.763 9 m,小于其标定位置精度 1.042 m(CEP),说明厂家提供的精度参考值可靠。

所得到的单点的精度半径(100%点)约 2 m,小于生产厂家给的(2.5 m),说明该模块可以满足多数情况下物探测网的平面测量精度要求,表明系统设计方案可行。

#### 4 结 语

本文通过对整个接收机系统的研究和设计,主要得到以下结论:

(1) 所选用的 GPS-OEM 定位精度能满足设计需求。在配合使用右旋极化陶瓷介质天线进行的单机静态测试结果表明,单点定位精度小于 1 m,由 4 次动态测试可得该接收机的导航的最大偏差也在 1 m 左右,能满足大多数地球物理勘探的平面测量精度要求。

(2) 设计 GPS 接收机系统的整体思路是正确的。选用中低档的 GPS-OEM 来设计实现单点定位精度较高、价格适中的 GPS 接收的思路是正确的,实现了用中低档 GPS-OEM 和较好的接收天线来研制高精度 GPS 接收机的设想,也为后续的设计者提供了借鉴。

(3) 提出的整体的设计方案是可行的。选用 DSP

芯片和 GPS-OEM 板开发 GPS 接收机是可行的,能达到实时定位的功能要求;选用的 TMS320F2812DSP 芯片能满足实时性的要求。其中所设计的 DSP 模块电路可以满足系统要求。

#### 参 考 文 献

- [1] 何香玲,张跃,郑钢曲. GPS 全球卫星定位技术的发展现状、动态及应用[J]. 微计算机信息,2002,18(5):1-3.
- [2] 王宝林,刘建平. DSP 系统设计的一般方法和技巧[J]. 电子元器件应用,2006(2):74-77.
- [3] 苏涛,何学辉,吕林夏. 实时信号处理系统的设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.
- [4] 杨天明. 基于 GPS-OEM 模块的农田基本信息采集系统的设计与实现[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(9):229-234.
- [5] 李勇军,杨青,庞树杰. 基于 OEM 板的 GPS 接收机设计[J]. 农机化研究,2006(12):109-111.
- [6] 佚名. 新月-HC12A 速查手册 NEW[EB/OL]. [2006-08-07]. <http://www.UniStrong.com>.
- [7] 邹彦. DSP 原理及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [8] 苏奎峰,吕强. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [9] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005.
- [10] 帅平,曲广吉,陈忠贵. 卫星导航系统性能指标与评估方法[C]. 出版地不详:全国第十二届空间及运动体技术学术年会论文集,2006.

(上接第 78 页)

- [2] 方大纲. 天线理论与微带天线[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [3] WEMER D H, GANGULY S. An overview of fractal antenna engineering research [J]. Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1): 38-57.
- [4] 张辉,付云起,朱畅,等. 基于 Minkinski 分形边界的微带贴片天线[J]. 微波学报,2006,22(6):37-39.
- [5] SOLER J, ROMEU J. Dual-band sierpinski fractal monopole antenna [C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. [S. l.]: IEEE Organization, 2000: 1712-1715.

- [6] DOUGLAS H W, GANGULY Sum-an. An overview of fractal antenna engineering reaseach[J]. IEEE Antennas and Propagation, 2003, 3: 40-42.
- [7] 冯文涛,张广求,屠振,等. Sierpinski 分形天线特性分析[J]. 现代雷达,2007(5):79-81.
- [8] 赵万年,武岳山,刘奕昌. 一种基于 Koch 和 Hilbert 分形加载的电子标签天线设计[J]. 电子技术应用,2009(1): 98-101.
- [9] 肖光国,朱守正. 加载式混合分形天线及其应用[J]. 微波学报,2008,24(3):40-43.

作者简介:杨跃胜 男,1984 年出生,硕士研究生。主要研究方向为射频识别技术。

武岳山 男,西北大学副教授,深圳市远望谷信息技术股份有限公司技术总监。主要研究方向为射频识别技术与应用、电子电路 EDA 技术等。

熊立志 男,深圳市远望谷信息技术股份有限公司高级工程师。主要从事 RFID 技术、芯片设计研究。

李 曼 女,1985 年出生,硕士研究生。主要研究方向为射频识别技术。

## 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，一直致力和专注于微波、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>