

# 基于LS文法的分形RFID标签天线分析设计

李进<sup>1</sup>, 范寿康<sup>2</sup>, 薛光, 胡容

(1.解放军理工大学通信工程学院研究生2队, 江苏南京210007, LeeJin1981@gmail.com;

2.解放军理工大学通信工程学院卫星通信系)

**摘要:**文章基于LS文法创建的Sierpinski分形结构进行了射频识别(RFID)标签天线的设计。首先通过EM仿真得到了Sierpinski分形结构天线的谐振频率、回波系数与分形级数的关系,然后利用二级和三级Sierpinski分形结构分别设计了工作频率在915MHz的RFID标签天线。仿真结果表明,Sierpinski分形结构天线的自相似特性和空间填充特性可有效转化为标签天线的尺寸缩减特性,其辐射增益表明该结构适合RFID标签天线的要求。

**关键词:**LS文法; Sierpinski分形结构; 射频识别; 标签

## Analyze and Design of RFID Tag Antennas Based on Fractal Structure made by LS

LiJin<sup>1</sup>, Fan Shou-kang<sup>2</sup>, Xue Guang, Hu Rong

(1. Postgraduate Team 2 ICE, PLAUST, Nanjing 210007, China, LeeJin1981@gmail.com;

2. Department of Satellite Communication ICE, PLAUST)

**Abstract:** A RFID tag antenna with Sierpinski fractal made by LS has been designed in this paper. Firstly acquire relation between the resonance、reflection performance and the series of fractal structure by the results of EM simulation, Secondly design a RFID tag antenna in 915MHz with two and three series of Sierpinski fractal. From the results of simulation ,the self-similar and space-filling feature of Sierpinski fractal structure antenna can be effectively transformed into the size-reducing feature, and radiation gain meet the need of RFID tag antenna .

**Keywords:** LS;Sierpinski fractal structure; radio frequency of identification(RFID);tag

### 1 介绍

射频识别(RFID)是一个近年来迅速发展的技术,它通过使用射频信号来进行物体的自动识别,广泛应用于工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理系统、仓库物品管理、车辆防盗等众多领域。目前广泛使用的RFID系统的标准主要有ISO、Class 0、Class 1、Gen2[1]。

RFID系统主要包括电子标签、读写器,其中RFID标签有主动(有电池供电)和被动(无电池供电)两种形式。一个典型的被动RFID标签由一个天线和一个ASIC(Application Specific Integrated Circuit)芯片组成,它是利用波束供电技术将接收到的射频能量转化为直流电源为卡内电路供电,其工作流程是通过接收RFID读写器发射的电磁信号供电,然后反射调制电磁

信号与读写器进行通信。因此,RFID标签天线设计的优劣对RFID系统工作性能有较大的影响。由于RFID标签小型化和附着物体表面等特点,如果在有限空间中提高标签天线增益,是RFID技术中至关重要的课题。

分形理论[3]由Manderblot在1975年提出,具有分形结构的物体一般都有自相似性和空间填充性的特点,应用到天线设计上可以实现天线多频段特性和尺寸缩减特性。国内外对Sierpinski单极子、Sierpinski贴片、Koch曲线单极子、Koch贴片等分形结构的天线做了大量研究工作,证实了分形结构的天线具有良好的尺寸缩减特性,可以在有限的空间内大幅度提高天线效率。

本文分析了基于LS文法生成的二级和三级

Sierpinski分形结构构建RFID标签天线，并对两种分形标签天线分别比较了其长度、谐振频率、反射系数及辐射增益随分形阶数的变化关系，仿真结果表明，二级Sierpinski分形结构具有较高的天线增益，结构构建简单，更适用于RFID标签应用。最后本文设计了应用于UHF波段的被动RFID标签天线，可以应用于贴在纸箱上以实现标准供应系统中货物的识别。

## 2 LS构成Siepinski分形结构的几何描述

### A. LS文法的定义[2]

文法构图算法是仿照语言学中的语法生成方法来构造图形的一种算法。美国著名语言学家乔姆斯基(N.Chomsky)在20世纪50年代给出了递归生成语法的方法，指定一个或几个初始字母和一组“生成规则”，将生成规则反复作用到初始字母和新生成的字母上，产生整个语言。这就是由“生成语法”定义的形式语言。1968年美国生物学家Aristid Lindenmayer在研究植物形态的进化与构造时，提出了一种文法描述方法：Graftal，后来发展为形式语言的一个重要分支，称为L-Systems (LS)。

LS文法是一类独特的迭代过程，其核心概念是重写。作为一种形式语言，LS文法用字母表和符号串来表达生成的对象的初始形式，称之为公理(Axiom)，然后根据一组产生式重写规则，将初始形式的每个字符依此替换为新的字符形式，以此过程反复替换重写，最后生成终极图形。

在二维平面上，LS文法的图形生成过程，类似于海龟在沙滩上行走，海龟行走的每一时刻的状态定义为当前位置矢量T与前进方向角 $a$ 的集合( $T, a$ )，则二维LS文法字母表的绘图规则如下：

F：在当前方向前进一步，并画线。

f：在当前方向前进一步，不画线。

+：逆时针旋转 $d^\circ$ 。

-：顺时针旋转 $d^\circ$ 。

[：将当前信息压栈。

]：将[时刻的信息出栈。

这里首先用LS文法来构建文献中常见的Koch曲线[5]。设字母表为V，初始公理为w，生成规则为P，则有

w : F

$d = 60^\circ$

$$P : F \rightarrow F-F++F-F$$

利用上面规则依次迭代之后可以得到

步骤0：F

步骤1：F-F++F-F

步骤2：

F-F++F-F-F-F++F-F++F-F++F-F-F-F++F-F

步骤3：

F-F++F-F-F-F++F-F++F-F-F-F-F++F-F-F-F++

F-F-F-F++F-F++F-F++F-F-F-F++F-F-F-F

++F-F++F-F-F-F++F-F++F-F-F-F++F-F-F-F

++F-F-F-F++F-F++F-F-F-F-F++F-F

其构建的Koch曲线如下图1：

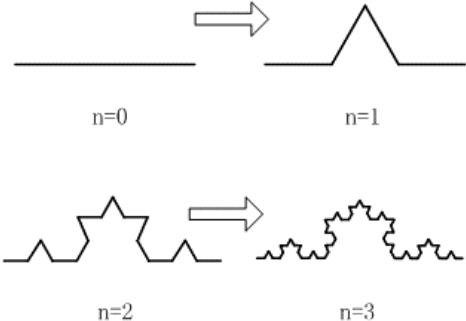


图1 Koch分形迭代图

### B. LS文法构建Siepinski垫片

对于本文中提到的Siepinski的生成，采用多规则的LS文法，其原理同前一致。文法生成规则如下：

w : L

$d = 60^\circ$

P1 : L → +R-L-R+

P2 : R → -L+R+L-

这里由双规则的LS文法构建的Siepinski垫片分形结构如下图2

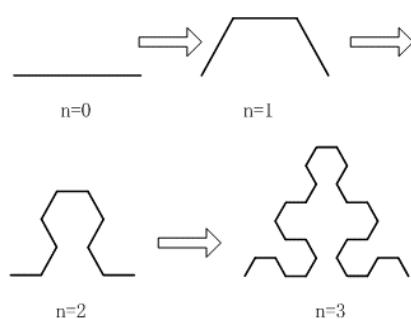


图2 Siepinski垫片分形迭代图

由图得到每变化一次，总长度变为原来的 $3/2$ 倍，经过n次迭代后，总长度为：

$$l = \left(\frac{3}{2}\right)^n$$

### 3 LS构成的Siepinski分形结构天线性能分析

分别采用二级和三级Siepinski垫片分形结构组成RFID标签天线，设对等的两臂中单臂的横向长度 $L=54\text{mm}$ ，线宽 $dL=1\text{mm}$ ，通过平衡馈电，输入阻抗 $50\Omega$ ，单面覆铜基板介电常数2.2，厚度为 $0.25\text{mm}$ ，则由前面Siepinski分形长度的计算公式，二级Siepinski分形单臂有效长度为 $54 \times \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 121.5\text{ mm}$ ，三级

Siepinski分形单臂有效长度为 $54 \times \left(\frac{3}{2}\right)^3 = 182.25\text{ mm}$ ，相

对于普通的半波振子长度 $54\text{mm}$ ，分形结构有效长度分别增加了125%和237.5%。为了模型构建方便，三级Siepinski结构两边分别增加一段横线结构，增加线段的长度与折叠线长度相同，模型及长度 $L$ 的示意图如下图3所示。为了便于建模比较，本文对三级形状做了改进，在对称的两边各增加了一条横向臂。

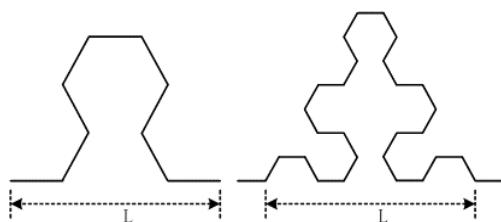


图3 模型示意图

下面采用基于有限元法的电磁仿真软件HFSS[4]构建的模型如图4、图5所示，分别分析两种结构的辐射性能，得到仿真结果S11如图6、图7所示。

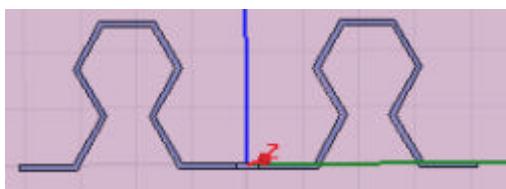


图4 二级Siepinski垫片

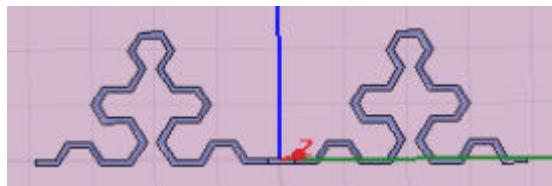


图5 三级Siepinski垫片

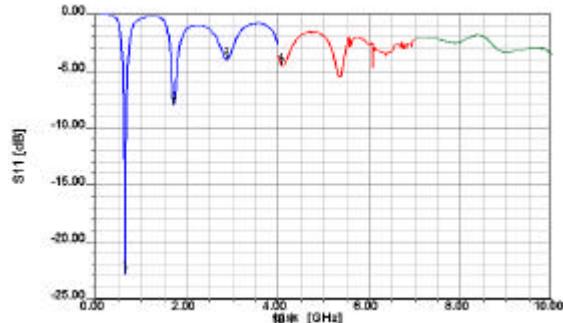


图6 二级Siepinski垫片S11

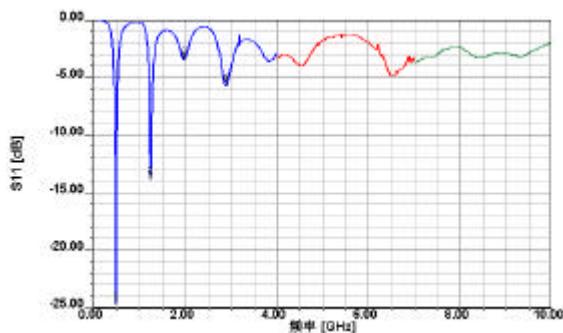


图7 三级Siepinski垫片S11

表1 谐振频率比较表

分形级数	第一谐振点/S11	第二谐振点/S11	第三谐振点/S11	第四谐振点/S11
二级	0.65GHz /-22.77	1.72GHz /-7.92	2.88GHz /-4.02	4.09GHz /-4.50
三级	0.48GHz /-24.65	1.24GHz /-13.81	1.97GHz /-3.48	2.87GHz /-5.64

仿真数值结果见表1，其中列出了二级和三级分形结构前4个主要谐振点的谐振频率以及S11参数，从中比较可以看出，随着分形级数的增加，谐振频率向低频偏移，谐振性能相对于第一个谐振频率点来讲没有明显的变化，并且该结构具有多波段的特性。这主要是由于采用分形结构导致有效长度的增加，从而使频率产生偏移，并且由于分形自身的结构复杂性产生了多个谐振分量。

### 4 Sierpinski分形标签天线设计及仿真

本文设计应用于915M，带宽范围为886.5 ~ 935.5MHz的RFID标签天线，实际应用中根据匹配的要求，RFID芯片的阻抗有实部和虚部两部分，就要求天线的阻抗直接与芯片相匹配，这样可以减少匹配电路的设计，并且不同厂家生产的芯片阻抗不同，需根据实际采用的芯片来设计天线的阻抗匹配。本文假定

匹配到50欧姆进行仿真设计。

利用上述仿真分析的结果，利用二级三级Sierpinski分形结构分别设计中心频率在915MHz的RFID标签天线，经过优化最终得到设计尺寸及仿真结果如下

当半臂L的长度为39mm，线宽1mm，S11仿真结果如图8，辐射增益如图9，在915M时最大辐射方向上增益为2.199dBi

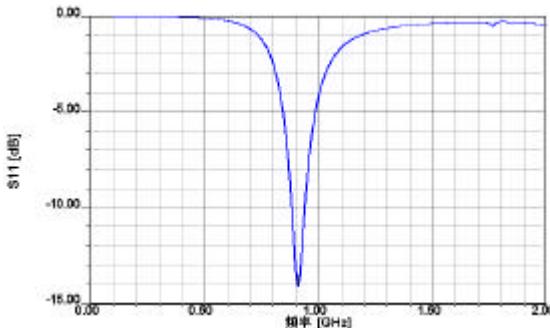


图8 二级Siepinski垫片S11图

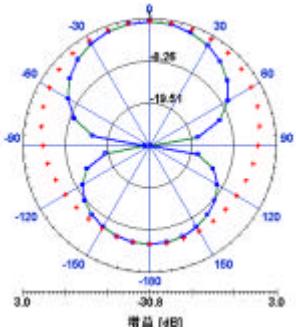


图9 915M E面(实线)和H面(虚线)辐射方向图

当半臂L的长度为31.1mm，线宽 $dL=1.3mm$ ，S11仿真结果如图10，辐射增益如图11，在915M时最大辐射方向上增益为1.828dBi

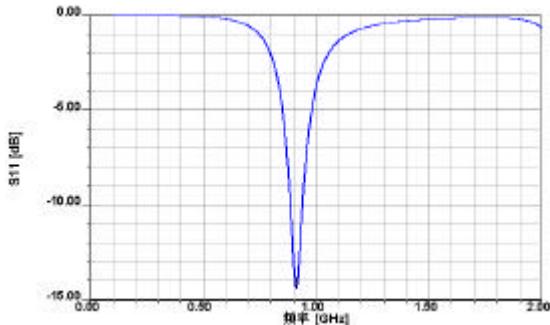


图10 三级Siepinski垫片S11图

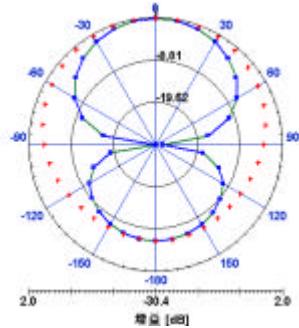


图11 915M E面(实线)和H面(虚线)辐射方向图

从二级和三级Siepinski垫片分形结构仿真结果的对比可以看出，分形级数增加的同时，天线的最大辐射增益反而减小，但都可以达到RFID标签天线性能的要求，辐射增益的减小主要是由于结构的复杂性影响了辐射增益的提高，并且匹配的不理想对辐射增益也有一定影响。

## 5 结论

Siepinski垫片分形结构由于其自相似特性和空间填充特性，具有尺寸缩减和多波段的特性，适用于RFID标签天线的设计。本文通过对二级和三级Siepinski分形标签天线电磁仿真的对比得到，随着分形阶数的不断增加，在尺寸基本不变的情况下天线有效长度增加，但辐射增益并没有明显的变化，经过EM仿真设计，仿真结果显示二级Siepinski垫片分形结构基于其较大的辐射增益，以及较为简单的物理结构，可以实现谐振在915MHz的RFID标签天线。

## 参考文献：

- [1] Seshagiri Rao K V , Nikitin Pavel V , Lam Sander F. Antenna design for uhf rfid tags : a review and a practical application. *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, 2005, 53(12) : 3870-3876 .
- [2] 孙博文. 分形算法与程序设计. 北京：科学出版社，2004 .
- [3] Werner Douglas H, Ganguly Suman. An overview of fractal antenna engineering research. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2003, 45(1) : 38-57 .
- [4] Ansoft High Frequency Structure Simulator v9 User's Guide , 2003 .
- [5] 李水根, 吴纪桃. 分形与小波. 北京 科学出版社 2002.

## 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>