

# Koch 分形结构 RFID 标签天线分析设计

李进<sup>1</sup> 范寿康<sup>2</sup> 薛光

(1 解放军理工大学通信工程学院研究生 2 队, 南京 210007;

2 解放军理工大学通信工程学院卫星通信系, 南京 210007)

**摘要:** 文章基于 Koch 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 Koch 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 Koch 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, Koch 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, 而且在分形级数增加的同时具有更高的辐射增益。

**关键词:** Koch 分形结构; 射频识别; 标签

## Analyze and Design of RFID Tag Antennas Based on Koch Fractal Structure

Li Jin<sup>1</sup> Fan Shoukang<sup>2</sup> Xue Guang

(1 Postgraduate Team 2 ICE, PLAUST, Nanjing 210007, China;

2 Department of Satellite Communication ICE, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** A RFID tag antenna with Koch fractal 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 Koch fractal. From the results of simulation, the self-similar and space-filling feature of Koch fractal structure antenna can be effectively transformed into the size-reducing feature, and radiation gain raised with the increase of the fractal series.

**Keywords:** Koch Fractal Structure; Radio Frequency of Identification (RFID); Tag

### 1 引言

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<sup>[1]</sup>。

RFID 系统主要包括电子标签和读写器, 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。

本文分析了基于二级和三级 Koch 分形结构的 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，三级 Koch 分形结构在尺寸不变的同时，具有较高的天线增益，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 Koch 分形结构的几何描述

瑞典数学家科赫 (H. von Koch) 在 1904 年提出了具有自相似性的 Koch 曲线<sup>[2]</sup>。其生成方法是把一条直线等分成三段，将中间的一段用夹角为 60° 的两条等长的折线来代替，形成一个生成元，然后再把每个直线条用生成元进行代换，经无穷多次迭代后，就呈现出一条有无穷多弯曲的 Koch 曲线。每变化一次，总长度变为原来的 4/3 倍，经过 n 次迭代后，总长度为：

$$l = (4/3)^n$$

Koch 曲线的迭代生成的方式可按照下面方程来实现：

$$W \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}$$

等效为  $W(x, y) = (ax + by + e, cx + dy + f)$

其中 a, b, c, d, e, f 为实数，x, y 为分段点坐标值，W 为转换关系矩阵。对于 Koch 分形结构，由此有：

$$W_1(x, y) = (\frac{1}{3}x + (0)y + 0, (0)x + \frac{1}{3}y + 0)$$

$$W_2(x, y) = (\frac{1}{6}x - \frac{\sqrt{3}}{6}y + \frac{1}{3}, \frac{\sqrt{3}}{6}x + \frac{1}{6}y + 0)$$

$$W_3(x, y) = (\frac{1}{6}x + \frac{\sqrt{3}}{6}y + \frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{6}x + \frac{1}{6}y + \frac{\sqrt{3}}{6})$$

$$W_4(x, y) = (\frac{1}{3}x + (0)y + \frac{2}{3}, (0)x + \frac{1}{3}y + 0)$$

$W_1(x, y)$ 、 $W_2(x, y)$ 、 $W_3(x, y)$ 、 $W_4(x, y)$ 的组合就是 Koch 曲线，如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

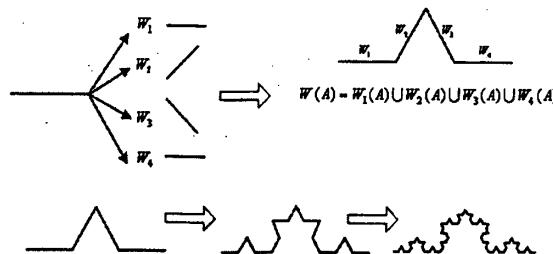


图 1 Koch 分形迭代图

## 3 Koch 分形结构天线性能分析

分别采用二级和三级 Koch 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=60mm，线宽 dL=1mm，通过平衡馈电，输入阻抗 50Ω，基板介电常数 3.5，厚度为 0.051mm，则由前面 koch 分形

长度的计算公式，二级 koch 分形单臂有效长度为  $60 \times (\frac{4}{3})^2 = 106.7\text{mm}$ ，三级 koch 分形单臂有效长度为  $60 \times (\frac{4}{3})^3 = 142.2\text{mm}$ ，相对于普通的半波振子长度 60mm，分形结构有效长度分别增加了 78% 和 137%。模型构建如图 2、图 3 所示，下面采用基于有限元法的电磁仿真软件 HFSS<sup>[4]</sup>分析两种结构的辐射性能，得到仿真结果 S11 如图 4、图 5 所示。



图 2 二级 Koch 分形



图 3 三级 Koch 分形

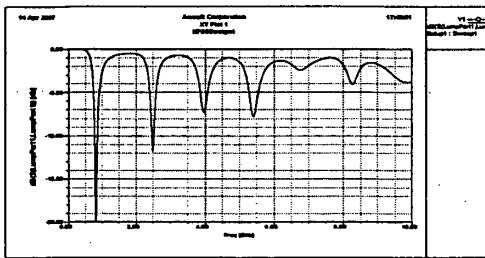


图 4 二级 Koch 分形 S11

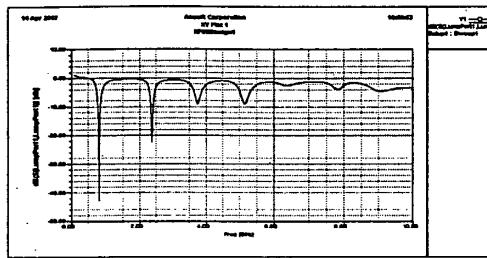


图 5 三级 Koch 分形 S11

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，谐振性能增强，并且具有多波段的特性。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，并且分形自身的结构特性提高了辐射增益。

表 1

	第一谐振点/S11	第二谐振点/S11	第三谐振点/S11	第四谐振点/S11
二级分形	0.81GHz/-19.81dB	2.49GHz/-11.78dB	3.97GHz/-7.25dB	5.39GHz/-7.72dB
三级分形	0.80GHz/-42.68dB	2.37GHz/-22.26dB	3.76GHz/-8.93dB	5.13GHz/-8.77dB

#### 4 Koch 分形标签天线设计及仿真

本文设计应用于 915M 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 Koch 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文所述。

当半臂的长度为 54mm，线宽 0.9mm，S11 仿真结果如图 6 所示，辐射增益如图 7 所示，在 915M 时最大辐射方向上增益为 0.34dBi。

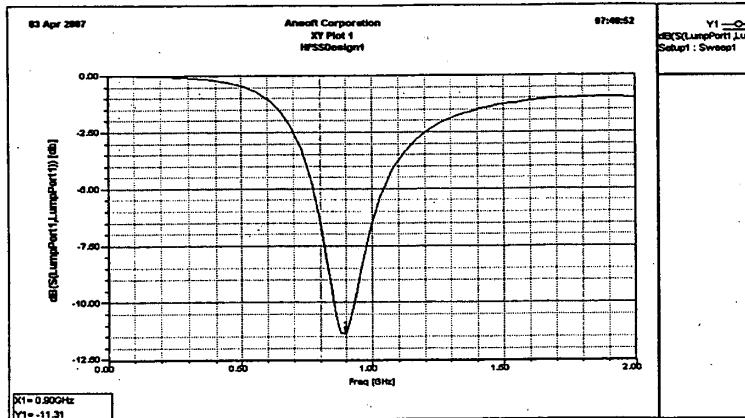


图 6 二级 Koch 分形 S11 图

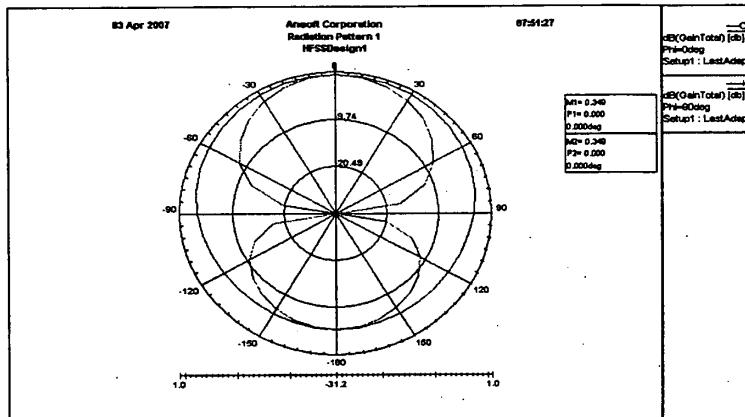


图 7 辐射增益图

当半臂长度  $L=53.1\text{mm}$ , 线宽  $dL=1\text{mm}$ , S11 仿真结果如图 8 所示, 辐射增益如图 9 所示, 在 915M 时最大辐射方向上增益为 1.734dBi。

从二级和三级 Koch 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也有所增加, 可以达到 RFID 天线的要求。

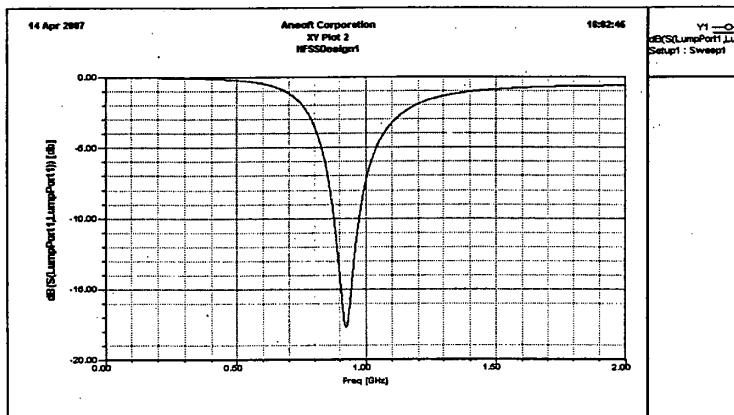


图 8 三 Koch 分形 S11 图

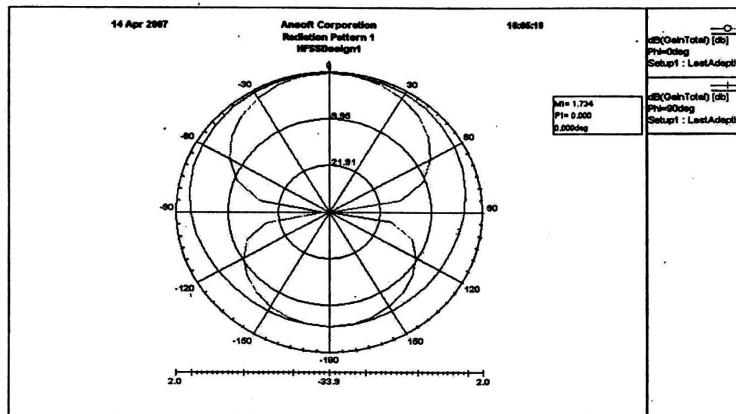


图 9 辐射增益图

## 5 结论

Koch 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。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，并且增大了辐射增益，经过 EM 仿真设计，仿真结果显示可以实现谐振在 915MHz 的 RFID 标签天线。

### 参考文献

- [1] K. V. Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin, Sander F. Lam. Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application, 2005. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNA AND PROPAGATION, VOL. 53, NO. 12, DECEMBER 2005: 3870~3876
- [2] 李水根, 吴纪桃. 分形与小波. 北京: 科学出版社.2002
- [3] Douglas H. Werner, Suman Ganguly. An Overview of Fractal Antenna Engineering Research. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 1, February 2003: 38-57
- [4] Ansoft High Frequency Structure Simulator v9 User's Guide, 2003



作者简介：

李进（1981-），男，籍贯山东荣成，硕士研究生，研究方向：电磁场与微波技术，解放军理工大学通信工程学院研究生 2 队，江苏 南京 210007

## 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>