

文章编号:1009-671X(2007)01-0009-04

# 一种采用分形技术的超宽带天线设计

周会兰<sup>1</sup>, 崔振刚<sup>1,3</sup>, 姜 孜<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨工业大学 通信技术研究, 黑龙江 哈尔滨, 150001; 3. 黑龙江省通信公司, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:**在天线设计中引入分形技术,可有效地解决天线设计中的小型、多频带、可集成等问题,文中简要介绍了分形天线的基本概念和特性,总结了目前分形技术在电磁学的应用现状.提出了一种将采用分形技术的超宽带天线设计思路与方案,通过仿真实验论证了该方案的可行性.

**关键词:**分形;仿射变换;多频带;超宽带

**中图分类号:**TN015.8 **文献标识码:**A

## An UWB antenna design by using fractal technique

ZHOU Hui-lan<sup>1</sup>, CUI Zhen-gang<sup>1,3</sup>, JIANG Tao<sup>1,2</sup>

(1. College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Research Center of Communication Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. Heilongjiang Telecommunication Corporations, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The introduction of fractal technique to antenna design can effectively resolve the problems such as miniaturization, multi-band and integration. This is research hot spot in current antenna area. Here the basic concept and characteristic and fractal antenna are demonstrated. The current situation of application of fractal technique in electromagnetics is presented. A new design scheme is proposed for ultra-wide band antenna with fractal technique. The simulation proves the feasibility of this scheme.

**Keywords:** fractal; affine transform; multi-band ultra-wide band

近年来,随着超宽带 (ultra-wide band) 无线通信作为一种极具潜力的通信方式受到广泛关注,超宽带天线的研究逐渐成为一个新热点.超宽带天线需解决的问题是实现极大带宽、线性相频响应和小型化、低剖面等问题.具有复杂形状的分形天线结构以其多频带、小尺寸的特点在 UWB 天线设计中具有不可比拟的优势,是解决超宽带天线设计难题的一个重要方向<sup>[1-2]</sup>.

## 1 分形技术与分形天线

### 1.1 分形理论

分形理论是 20 世纪 70 年代法国数学家 Benoit

Mandelbrot 提出的<sup>[3]</sup>,其主要特征是具有自相似性和空间填充性(分数维).自相似性是指在适当放大或缩小结构几何尺寸时,整体结构并不发生改变,在各种尺度上都有相同程度的不规则性;而分数维是指用某个特征数来测定其不平度、复杂性或卷积度.

### 1.2 分形天线技术的发展

传统天线的性能在很大程度上依赖于天线尺寸,对于固定的天线尺寸,天线的增益、方向图等性能指标将随着工作频率的改变而改变.将分形思想应用于天线设计有以下优势:分形自相似性使分形天线具有分形的性能特征,从而具有多频性能;把分形迭代应用于一些天线,使缩减尺寸成为可能,如

收稿日期:2006-10-11.

基金项目:哈尔滨工程大学校内科研基金资助项目(HEUF041110).

作者简介:周会兰(1982-),女,硕士研究生,主要研究方向:超宽带天线的研究与仿真,E-mail:zhouhuilan@hrbeu.edu.cn.

Koch 天线.

分形天线研究主要集中在分形天线单元和分形天线阵列 2 方面.

对于单个分形天线而言,国外在这 2 方面的研究已取得实质性的进展,研究表明,Sierpinski 垫片、Mandelbrot 树、Koch 曲线、Minkowski 环的分形不仅具有非常优良的宽频响应,而且所占空间最为紧密.

在均匀分布阵列中,用 Minkowski 环代替传统欧氏几何中的方形环天线单元后,增大单元间距从而减小阵元间的电磁耦合,使得阵列天线有较深的零陷和背向辐射电平.阵间距用 Cantor 集布局,而阵单元仍用传统的欧氏几何形,可实现阵列的低副瓣和馈源的稀疏分布.

## 2 分形天线特性

### 2.1 利用其多频点谐振实现宽频带

为使天线具有多频点谐振特征,可以在天线整体结构基础上,利用迭代函数系统选定若干仿射变换,将天线结构从整体变换到局部,再经由多个不同的仿射变换进行多次迭代后,得到局部精细结构与整体具有相似特征的复杂几何形状<sup>[4-6]</sup>,如图 1 所示.



图 1 分形天线的迭代过程

若天线的工作频带内有  $n$  个谐振点,对于其中任一频点而言,其谐振值的决定取决于天线参数,即

$$\omega_i (1 \leq i \leq n) \sim f(A, N, W, P).$$

式中: $N$  为迭代次数, $P$  是与馈电位置相关的量, $A$  是与天线结构相关的量, $W$  为 Hutchison 算子,表示对天线初始结构  $A$  的变换和合并.对于指定具体变换的分形结构,在选择合适的馈电位置  $P$  和一定的迭代次数  $N$  后,天线就有可能获得多个相邻的谐振频点,并且具有缓变的阻抗特性,从而实现宽频带特性.

利用电磁仿真软件对 Sierpinski 分形天线的多频性能进行的仿真验证,可以得到结构图 2 和参数曲线图 3.当迭代次数为 3、迭代因子为  $1/2$  时,Sierpinski 在  $0 \sim 10$  GHz 范围内会出现 3 个谐振频点,

万方数据

且频点之间的关系与所选迭代因子有关.

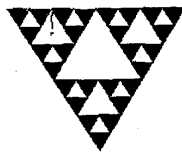


图 2  $N=3$  时的 Sierpinski 天线结构

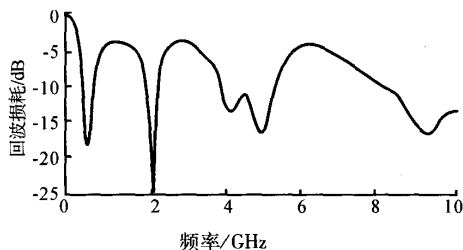


图 3  $N=3$  时 Sierpinski 天线的 S 参数曲线

### 2.2 分形构造频率不变天线

1975 年 V. H Rumsey 提出了非频变天线的概念,即天线的方向图和阻抗特性与频率无关的天线.它可分为 2 类:一类是天线形状仅由角度决定,可在连续变化的频率上得到非频变特性的平面等角螺旋天线和阿基米德螺旋天线等;另一类是基于电磁场相似原理,仅在离散频率点上具有非频变特性的天线,如各种对数周期天线.

天线有限尺寸决定了上下限频率,而结构  $A$  的自相似的比例因子  $\tau$  ( $0 < \tau \leq 1$ ) 决定了带内特性的变化情况,当满足

$$(\tau A) \cap A = (\tau A),$$

即  $A$  只有在比例为  $\tau$  情况下其变换后的结构方为其自身结构的一部分时,具有频率不变特性.若要保持  $\tau f$  与  $f$  之间的频带仍保持频率无关性,则要求  $\tau$  值不能过低,以免引起较大的性能变化<sup>[7]</sup>.

频率无关天线在实现宽频带结构的同时,其相频特性对天线整体性能有重大影响,波形最大时延扩张  $t$  受限于天线尺寸和馈电位置,即

$$\tau \sim f(A, P).$$

从时域来看,天线的脉冲波形畸变是由于脉冲在不同位置的先后辐射造成的.对于频率不变天线,在宽带满足情况下可以进一步压缩天线尺寸,从而减小辐射脉冲波形失真.

### 2.3 缩减天线尺寸

研究标明,在保证与现有天线性能相近情况下,

应用分形技术的天线设计可以明显减小天线尺寸. 加利福尼亚大学的 John Gianvittorio 等人研究了在 PCS 波段(1 900 MHz)处的高度为 7.5 cm 的直立谐振偶极子天线<sup>[8]</sup>,并与迭代了 1、2、3 次的 Koch 曲线分形偶极子天线作了比较. 结果标明:在激励元、制作材料等条件相同、性能相近的情况下,Koch 偶极子天线在高度分别比直立天线降低 16%、25%、30%,如图 4 所示.

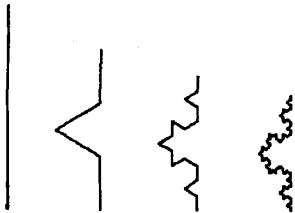


图 4 同频的直立天线与 koch 分形天线的高度比较

另外,在保证 Koch 天线高度不变的前提下,天线的实际长度与天线的初始长度之间的变换关系为

$$L_{\text{Koch}}(N) = L \cdot (4/3)^N.$$

此外,平面形 Mandelbrot 分形树状天线和其他形状的分形天线都可在外界条件相同情况下,得到与直立天线相似的电性能.

2.4 其他特性

与传统天线相比,分析天线还有其他的优势.如“自加载”特性,即它不需要利用额外的调谐线圈和调谐电容等元器件或其他匹配电路就可在宽频带工作情况下实现阻抗匹配.利用分形天线的多频性能,还可以简化电路设计,降低系统成本和提高系统稳定性.

3 分形与 UWB 天线

为了对具有分形结构的 UWB 天线性能进行评估,对三阶 Sierpinski 方形微带天线进行了计算机仿真. 天线结构如图 5 所示.

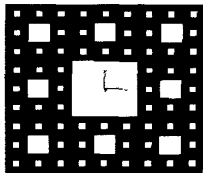


图 5 高度为 65 mm 的 Sierpinski 分形天线结构图

天线印制在聚四氟乙烯板上( $\epsilon = 2.7$ ,  $\mu = 1.0$ ),为保证结构对称取比例因子  $\tau$  为 1/3,即每次

迭代后取各自剩余部分的 1/3. 根据结构可实现性,取迭代次数为 3,在 UWB 频段内对其进行仿真计算得其阻抗特性与 S11 曲线如图 6、图 7 和图 8 所示.

通过 S11 曲线可发现,在 3.1 ~ 10.6 GHz 的频段内,出现了多个谐振点,分别为 4.124 8 GHz、5.499 1 GHz、5.697 GHz、6.209 5 GHz、7.455 6 GHz、8.259 2 GHz、8.771 6 GHz、9.33 GHz、10.025 GHz,图 10 ~ 13 给出了部分谐振点的远场区方向图.

由天线阻抗特性曲线和 S11 曲线可以看出,在 3.1 G ~ 10.6 GHz 的频段内,出现了多个谐振点,但各谐振点之间的突变较大,这与构造天线时所选用的馈电位置、放射变换以及迭代次数等有关.

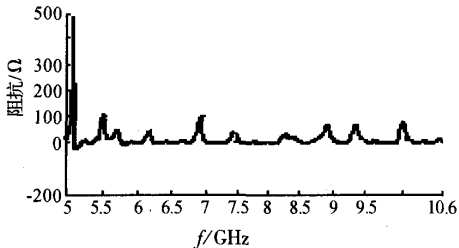


图 6 Sierpinski 方形微带天线的输入阻抗曲线

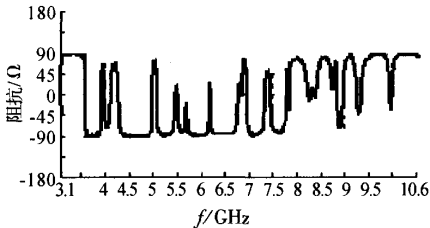


图 7 Sierpinski 方形微带天线的输入阻抗相位曲线

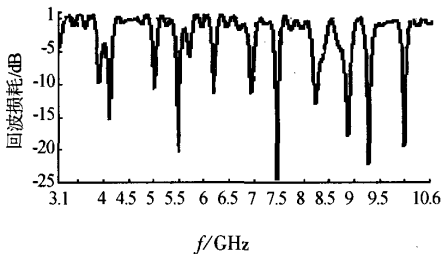


图 8 Sierpinski 方形微带天线的 S11 曲线

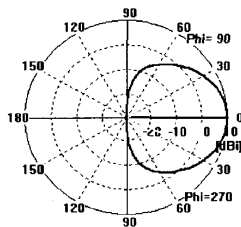
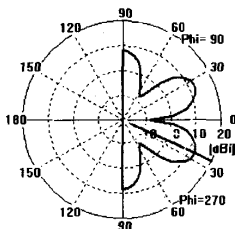
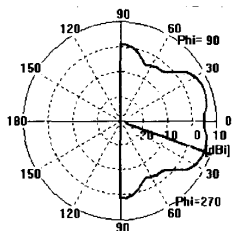
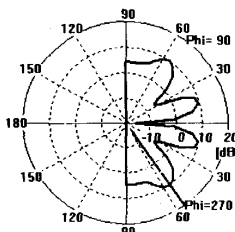


图 9  $f = 4.125$  GHz 时的方向图

图 10  $f=5.499$  GHz 时的方向图图 11  $f=8.7716$  GHz 时的方向图图 12  $f=10.0$  GHz 时的方向图

下表给出了图 9~12 种各项性能参数.

表 1 仿真性能表

频率 /GHz	磁场强度 / $A \cdot m^{-1}$	方向增益 / $(^\circ)$	带宽 / $(^\circ)$
4.125	9.7	0.0	47.9
5.499	12.4	25.0	21
6.500	6.9	20.2	70.4
8.259	10.0	55.0	19.3

## 4 结束语

分形天线的小型化及宽频带优势使其应用于无线通信中具有极其广阔的前景. 目前对分形天线的研究还比较有限, 如分形天线的几何特征与其电性能之间的关系, 分形天线理论的严格论证等等. 分形技术应用于 UWB 天线的设计思想, 需要在实践中不断完善. 今后可深入研究的内容包括分形天线几何结构的自相似性质决定了它的多频带属性, 其空间填充性即分数维特征决定了它能够减小尺寸的理论证明, 对馈电方式、仿射变换等作用因素的深入分析, 以得到天线阻抗的缓变特性.

## 参考文献:

- [1] COHEN N. Fractal antenna applications in wireless telecommunications[A]. Proceedings of Electronics Industries Forum of New England. [C]. Hartford, USA, 1997.
- [2] 田铁红, 周正. 分形天线的应用研究[J]. 无线通信, 北京邮电大学, 2003, 33(3): 16~20.
- [3] MANDELBROT B. The fractal geometry of nature[M]. New York, Freeman, 1983.
- [4] HOHLFELD R, COHEN N. Self similarity and the geometric requirements for frequency independence in antennas[J]. Fractals, 1999(7): 78~84.
- [5] ZHENG Weidu. Analysis of microstrip fractal patch antenna for multiband communication[J]. IEEE letters, 2001, 37(13): 805~806.
- [6] PUENTE C, ROMEU J. Multiband antenna based on the sierpinski gasket[J]. IEE Electronics Letters, 1996, 32(1): 1~2.
- [7] BALIARDA C P. On the behavior of the sierpinski multiband fractal antenna and propagation, 1998, 46(4): 517~524.
- [8] GIANVITTORIO J R, RAHMAT S. Fractal antenna: a novel antenna miniaturization technique and applications[J]. IEEE antenna and propagation Magazine, 2002(1): 44.

[责任编辑: 张晓京]

## 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>