

# Koch分形的微带天线RCS减缩应用

崔冠峰 龚书喜 刘英

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室,陕西 西安,710071)

**摘要:**由于 Koch 分形独特的空间填充特性,本文将其应用于微带贴片天线的雷达散射截面(RCS)减缩中。对比标准的矩形微带贴片天线,可以将微带贴片天线的辐射边设计为 Koch 分形状,同时开两个平行于辐射边的 Koch 分形槽,谐振边基本保持不变。设计出的天线在总体辐射特性下降不大的前提下,单站 RCS 与矩形微带贴片天线相比得到了有效的减缩。比较好的实现了微带贴片天线的隐身功能。

**关键字:**分形天线 Koch 分形 雷达散射截面 微带贴片天线

## The application of Koch fractal microstrip antenna for reducing RCS

Cui Guanfeng GONG Shuxi LIU Ying

(National Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Xidian University,

Xi'an Shanxi, 710071, China)

**Abstract:** Koch fractal is used in the Radar Cross Section (RCS) reduction of microstrip patch antenna because of its special ability of space filling. Compared with the normal rectangular microstrip patch antenna, the radiate sides of antenna are designed in the shape of Koch fractal with the resonate side stay. And two Koch fractal shape slots in parallel with the radiation sides are made in the antenna. The monostatic RCS of the antenna received effective reduction, bases on the fact that the antenna total radiation character has little degression, which is helpful to the antenna RCS reduction.

**Key words:** fractal antenna Koch fractal RCS microstrip patch antenna

### 1 引言

分形几何是通过迭代产生的具有自相似特性的几何结构,其整体与局部以及局部与局部之间都具有自相似性。以往的研究表明,将分形几何用于天线设计,无论是在天线的尺寸还是频率等方面都显示出传统天线无法比拟的优势。其中Sierpinski毯分形可用作多频天线,它在不同的频率上有着惊人的相似性能[1]。分形还可以实现天线的小型化[2],展宽天线的带宽[3]等等。在解决隐身技术中的天线隐身问题时,由于天线自身的特点,它必须保持雷达波的正常接受和发射,因此常规的隐身措施,不可能在天线的隐身中获得应用,这就使得天线系统隐身成为隐身技术中得难以解决的关键问题。而微带天线的RCS减缩技术主要包括:电阻性加载技术,容变二极管加载技术,

改进天线基片和覆盖层技术[8]。通过在天线贴片上开槽并加短路针也可以减缩天线的RCS[4],所开槽为平行或垂直于矩形贴片边缘的矩形槽。

本文将Koch分形应用于微带天线设计中,鉴于将Koch分形应用于矩形微带贴片的谐振边所做的工作[5],尝试结合分形独特的空间填充能力的特点来改变微带天线的辐射边,将矩形贴片天线的辐射边用三阶Koch分形代替,并开两个平行于辐射边的一阶分形槽,在总体性能下降不大的情况下,单站RCS与矩形微带贴片天线相比得到了有效的减缩。

### 2 天线的结构

#### A. Koch分形的生成

取一条欧氏长度为L的直线段,将其三等分,保留两端的线段,将中间的一段改换为60°的两个等长的

直线。将长度为 $L/3$ 的4条直线段分别进行三等分，并将它们中间的一段均改换为夹角为 $60^\circ$ 的两段长为 $L/9$ 的直线段。重复上诉操作直至无穷，便得到Koch曲线。在天线设计中，考虑到加工的精度，一般的Koch曲线不会超过3阶。其生成过程为下图：

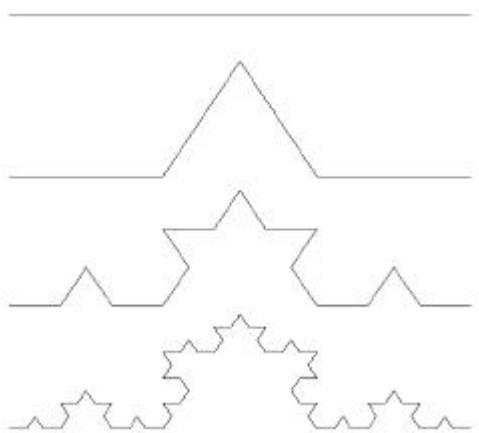


图1 分形图形生成过程

### B. Koch天线的形状

为与本文所设计的Koch分形天线作对比，现设计一个标准矩形天线如下图。

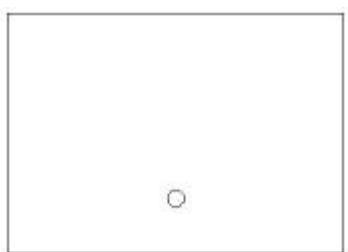


图2 标准矩形微带贴片的结构示意图

矩形微带天线的基本参数为宽度为14.7mm，长度为20.7mm， $\epsilon_r=3.2$ ， $h=2.5\text{mm}$ ， $\tan d=0.0003$ 。目前所作的研究中包括将Koch分形应用于微带天线的谐振边的设计，可参考[5]。现在我们将Koch分形应用于辐射边。将标准矩形的宽边保持不变，长边用Koch分形代替。从理论上分析，Koch分形的空间填充特性可以有效的增加电长度，从而降低天线的谐振频率，但用Ansoft HFSS仿真的结果显示此时的谐振频率反而上升。究其原因应该是Koch分形的辐射边这种结构破坏了微带贴片天线的辐射机理。现可按照如下思路设计：将谐振边保持不变，减小分形边的长度，同时开两个平行于Koch分形边的一阶Koch分形槽，结果如下图所示。

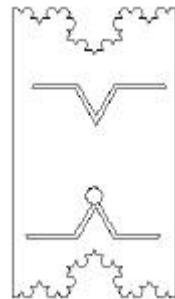


图3 Koch分形微带贴片天线结构示意图

由于Koch分形的形状能增大天线的辐射边的电长度，相对的减小了天线的尺寸。为了与标准的矩形微带天线相对比，调整Koch分形天线的基本尺寸，使其工作频率为5GHz时的基本参数为 $W=18.1\text{mm}$ ， $L=10.12\text{mm}$ ， $h=2.5\text{mm}$ 。而两个一阶分形槽的位置，通过优化来调整。两个天线都用50Ω同轴馈电，都工作在 $\text{TM}_{10}$ 模。考虑到分形微带天线的尺寸比矩形贴片减小了许多，会影响天线的辐射特性。为了提高天线的辐射特性，从以前的方法知道，可以适当减小基片的介电常数，将Koch分形天线基片设计为 $\epsilon_r=2.2$ ， $\tan d=0.0009$ 。用Ansoft HFSS 仿真计算，贴片表面的电流分布为图4所示。可以看出两个一阶Koch分形槽改变了电流的流通路径，它与三阶Koch分形辐射边的组合降低了天线的谐振频率，使得工作于相同频率下的Koch分形天线的尺寸相较矩形微带明显减小，下面再来比较两个天线的散射特性和辐射特性，先看天线的RCS，两者的2Ghz到12Ghz频段内的单站RCS特性比较如图5所示。

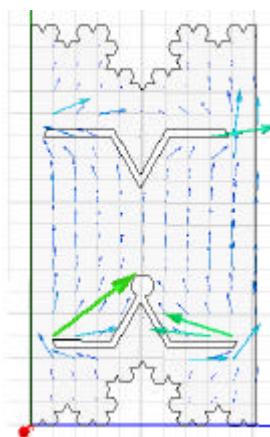
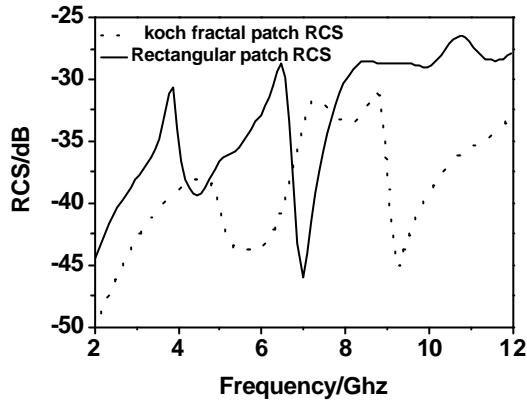
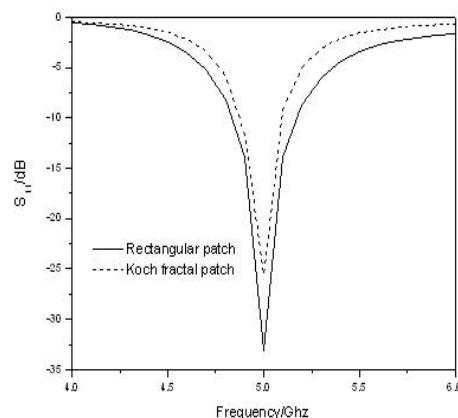


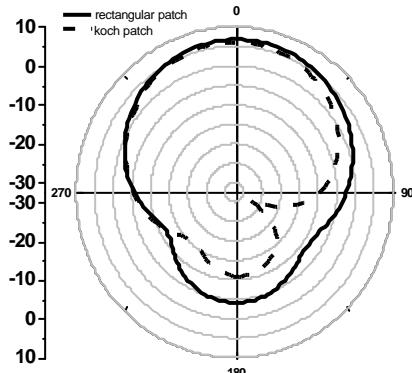
图4 Koch分形贴片天线表面电流分布

图5 两个天线的散射特性的比较 ( $\theta = 60^\circ, \varphi = 45^\circ$ 入射)

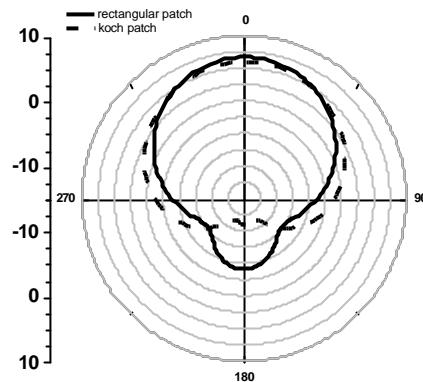
可以看出当平面波以  $\theta = 60^\circ, \varphi = 45^\circ$  方向入射时 Koch 分形天线 RCS 相比矩形贴片下降很明显，在大部分频段内有了显著的下降。其中带内下降了大约 3dB，4GHz 处及 6GHz 附近的两个峰值完全消失，RCS 下降了大约十几个 dB。9GHz 以后 RCS 也下降了有十个 dB 左右。但是在 7GHz 左右由于其它工作模式的频率的偏移而出现了一个新的 RCS 峰值，使得 Koch 分形贴片天线的 RCS 相较矩形反而上升。再来看两个天线辐射特性的比较



(a) 两个天线的回波损耗的比较



(b) H面方向图



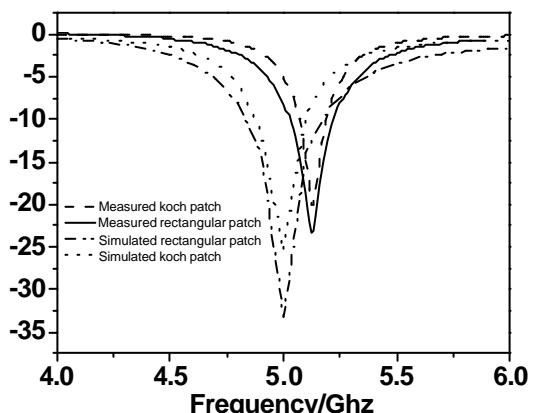
(c) E面方向图

图6 矩形天线与Koch分形天线的辐射特性比较

天线的 RCS 得到减缩付出的代价是天线的带宽的损失。矩形微带贴片天线的带宽为 6.8%，而 Koch 分形贴片天线的带宽为 4.6%，带宽受到一定影响，但是他们都是窄带天线，对于 RCS 减缩来说这样的代价是可以接受的。而对于两个天线的远场方向图变化不大，两者的增益相比，由矩形贴片的 6.9dB 降为 Koch 分形的 6.2dB，下降了 0.7 个 dB，该增益损失小于 1dB，对天线 RCS 来说是比较有意义的。

### C. 实物验证

现在通过加工实物来验证理论的可行性。由于实际中介电常数为 2.2 的介质板比较少，现在将介质板换成  $\epsilon_r = 2.65, h = 1.5\text{mm}$  的聚四氟乙烯板子，加工出了矩形贴片天线和 Koch 分形微带天线，其仿真结果与实测结果的比较我们可以从下图中看出



(a) 两个天线的回波损耗的比较

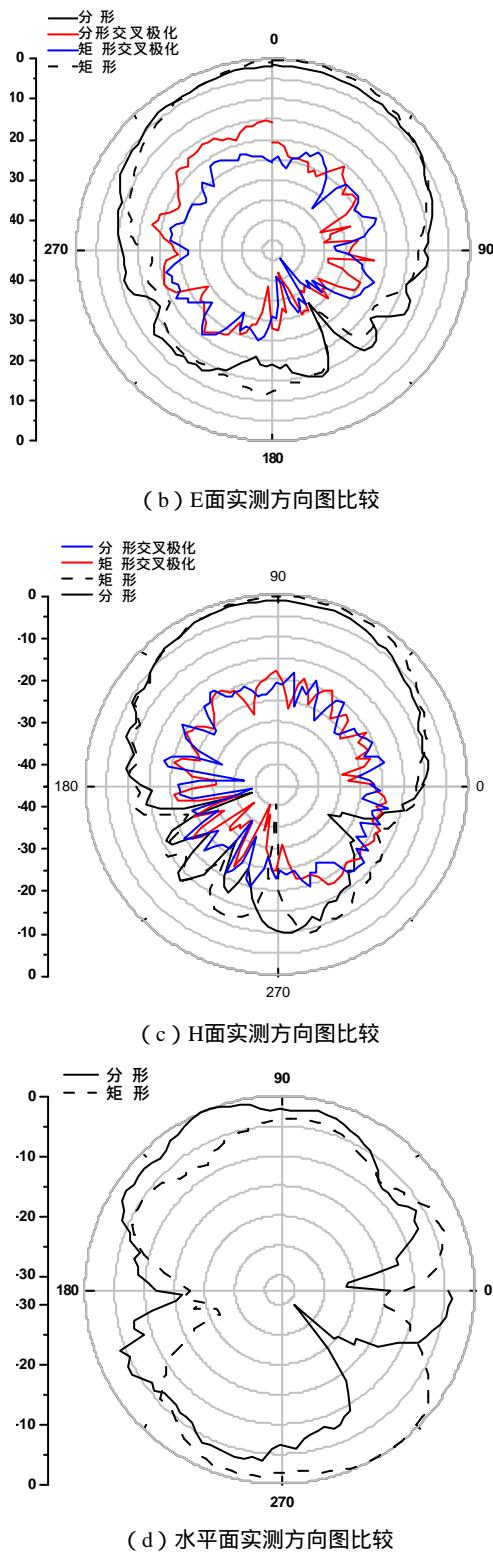


图7 矩形天线与分形天线的仿真与实测结果的比较

从结果中可以看出，仿真和实测很相近。天线的谐振频率稍微有点偏移，考虑应该是加工精度的影

响。实测的矩形和分形的辐射最大电平值相差了1个dB左右，实测的远场辐射方向图也很好的吻合了仿真结果。没有测量RCS值是由于两个单元天线的RCS值比较小，实际中的噪声等影响使得难以得到准确值。由于加工精度的影响及测量误差的存在，使得实物与仿真结果有点偏差，但也说明了理论的可行性。

### 3 结论

在减缩天线RCS的同时还很好保持其辐射特性是很困难的，工程中往往是在两者之间进行折衷，本文所应用的方法，首次将微带贴片天线的辐射边设计为Koch分形，同时开了两个平行于辐射边的两个一阶分形槽，在对天线的辐射特性影响不大的情况下，其RCS在带内和带外同时得到了很大程度上的减缩，其结果对天线RCS的研究有一定的借鉴作用。

### 参考文献

- [1] 刘英，龚书喜，傅德民.用于多频通信的微带分形贴片天线. *微波学报* 第17卷第4期2001年12月
- [2] 高艳华，张广求.分形天线 - 一种新颖的天线小型化技术及其应用
- [3] 李明星，张光求.微带天线的宽带设计综述. *无线电工程*. 2003年第33卷第11期
- [4] 石青松，龚书喜，贺秀莲. 微带天线散射截面减缩的两种方法及其综述. *雷达科学与技术*. 2005年8月第4期
- [5] 刘英，龚书喜，郭晖，傅德民. 用于天线RCS减缩的分形微带贴片天线. *电子学报*. 2004年9月第9期
- [6] Knott E F et al. *Radar Cross Section* [M]. Dedham, MA: Artech House Inc, 1985
- [7] 钟顺时. *微带天线理论与应用*. 西安：西安电子科技大学出版社，1991
- [8] 杨超，阮颖铮，冯林. *微带天线RCS减缩技术及分析方法*. *电波科学学报*，1994年12月第4期

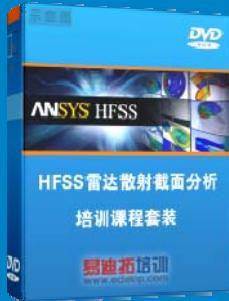
## 雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

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, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

### HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

### ● 更多培训课程:

#### ● HFSS 培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

#### ● CST 培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

#### ● 天线设计培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>