

分形天线的应用研究

北京邮电大学 四铁红 周 正

摘要 分形几何具有重要的特性即自相似特性，可以成功地应用于天线设计。该文主要介绍分形的基本概念，回顾分形天线的研究进展情况，并对现有的分形天线振子、分形天线阵的特性进行比较，探索未来分形天线的发展和研究方向。

关键词 分形天线 自相似 分形天线阵 多频带天线 TN8 A

1 前言

目前在无线通信领域中，各种用途及各种尺寸的天线基本上都是外露天线，由独立的元器件构成，而且天线在几何形状上基本均采用欧几里德几何图形，占据了一定的空间。随着无线通信系统的发展和无线应用产品的普及，特别是近几年随着手持设备的普及、超宽带无线通信技术的发展，人们对天线的研究提出了更高的要求。人们更希望采用一种隐蔽的、不占据空间的、具有多频带和宽频带特性的天线，以便使得手持设备能够更加灵活、方便。

宽频带天线的重要特征是其性能与频率无关，当频率变化时它能保持其阻抗和方向图特性不变，即若以频率为尺度时，其电性能不变。而分形几何是一种与标度无关的几何，它具有相似的结构，这意味着它的形状在不同的尺度变化下保持相似性。即在不同的频率上变化时，其形状结构仍是相似的，从而具有相似的电特性，形成了多频段天线。从这一点上分析，研究分形与天线的关系有其必然性。

2 分形与天线

“分形”(Fractal)这个名词源自于拉丁文的“破碎”，它是由 Benoit Mandelbrot^[1]在1975年发表的奠基性的论文中，为高度不规则的集合给出的命名。在该论文中，Benoit Mandelbrot 同时引入了分形几何(Fractal Geometry)的概念。从那时起，分形几何引起了人们的广泛注意。

分形几何不同于欧几里德几何，是没有规则的。首先，它们处处无规则可言；其次，它们在各种尺度上都有同样程度的不规则性，即自相似性。为

了能够正确地描述客观事物的这种“非规则”程度，分形理论从测度的角度引入了维数的概念，将维数从整数扩大到分数，从而突破了一般拓扑集维数为整数的界限。

经过二十多年的发展，分形几何已成为一门重要的新学科，它使人们以新的观点、新的手段来处理自然界中存在的不规则现象，透过扑朔迷离的无序的混乱现象和不规则的形态，揭示隐藏在复杂现象背后的规律、局部与整体之间的本质联系。分形几何可以用来描绘自然界物体的复杂性，不管其起源或构造方法如何，所有的分形都具有一个重要的特征：可通过一个特征数，即分形维数测定其不平度、复杂性或卷积度。对分形几何的这一表征并不只限于在某一平面之内的数学图形或形态，人们还能计算出诸如河流、海岸线、树木、闪电、云层、神经网络或肠壁绒毛之类真实物体的分形维数，从而可以利用分形几何的特征来描述和仿真复杂的自然界中某些实体的外形。如图1所示。

分形几何与 Maxwell 电磁理论相结合形成了一项新的研究领域：分形电动力学，它最初是由 Jaggard^[2]提出的，自那以后，分形在电磁理论中的应用日渐增多。人们对分形粗糙面的电磁散射、带限分形相位屏的绕射、一维分形 Cantor 集形状媒质中的波传播以及分形多层媒质的反射等许多课题都进行了研究^{[3]、[4]}。此外，还有关于分形天线及其阵列的研究工作。分形应用于天线阵列理论中最初是由 Kim 和 Jaggard 所发表的论文^[5]，它是出于设计低付瓣随机阵列的目的，使天线的排列服从于某一分形几何。利用 Weierstrass 函数对一类非

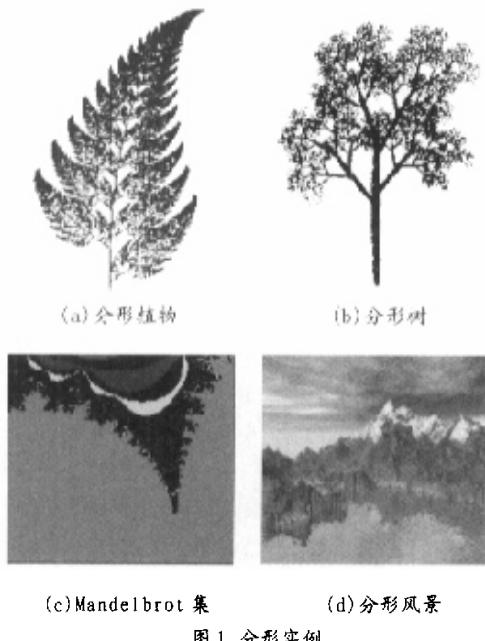


图 1 分形实例

均匀但对称分布的阵列，研究综合出其分形辐射方向图^[6]，确定出所需的阵元电流激励幅度和相位以及阵元间距。后来，随着分形阵列天线的研究发展，人们发现一方面可以利用改变阵元间距和阵元的激励电流幅度、相位，获得天线阵的多频带特性^[7]；另一方面可以利用分形几何结构上的自相似特征，制作出多频带天线^[8]。下面我们将讨论几种分形天线振子及分形天线阵列。

3 分形天线振子

普通天线振子，如圆柱状天线振子作为谐振天线，其电流呈驻波分布，输入电阻及输入电抗都是其电长度的敏感函数。尤其是输入电抗，不仅其大小随天线的电长度急剧变化，而且其性质也随电长度呈周期性变化。这些天线作为谐振天线，带宽较窄，即使通过适当的变形，如双锥天线、盘锥天线、折合振子天线等也只能扩展一到几倍的带宽，不能满足宽频带通信的需要。特别是随着跳频、扩频通信技术的发展，要求天线在瞬时频率上也是宽带的，因此，利用普通天线振子实现多频带和宽频带特性难度很大。

1957年V. H. Rumsey提出了频率无关天线的概

念，其中包括平面等角螺旋和圆锥螺旋结构天线、对数周期结构天线等，这些天线的研制成功，把天线带宽扩展到40:1或更大，目前在短波、超短波段以及作为微波天线馈源等方面都得到了广泛的应用。但是这种天线需要较大的电尺寸，或者说需要占据一定的空间，而这一条件又使得它的应用受到了一定的限制。因此，积极开展对新型的特别是小型化的宽频带天线理论与实验研究，是当前迫切的工作。

分形理论的基本概念应用于天线阵子的设计^{[9]~[10]}，正好解决了以上面临的问题。由于分形几何的结构复杂性和不规则性，使得天线的设计体积减小，同时由于分形几何的自相似特性，使得天线具有多频带特性，而且优化了天线的增益特性。

3.1 Koch 单极、双极分形天线

如图2(a)所示。Koch曲线^[11]的生成方法是把一条直线等分成三段，将中间的一段用具有一定夹角的二条等长的折线来代替，形成一个生成元，然后再把每个直线段用生成元进行代换，经多次迭代后就形成了Koch曲线。

参考文献[12]~[13]重点讨论了Koch曲线的单极天线特性，当保持天线的高度不变时，见图2(a)，随着迭代次数的增加，曲线的长度将按4/3的倍数增加，天线的辐射阻抗增加，谐振频率减小，并趋于某一有限值，同时品质因数Q值减小，也趋于某有限值。

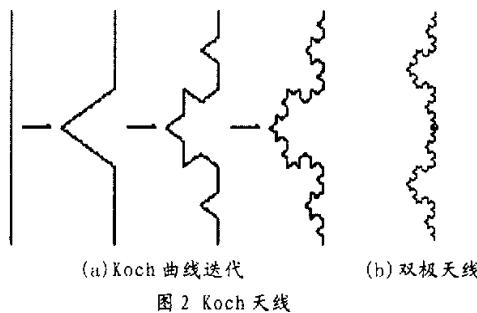


图 2 Koch 天线

当利用此曲线作为天线的两个振子时，即形成Koch双极曲线，见图2(b)。Koch双极曲线随着迭代次数的增加，辐射阻抗增加，谐振频率逐渐减小，并趋于某一有限值。当保持双极天线的谐振频

率不变时, Koch 曲线的长度和高度均减小, 见表 1, 从表 1 中可以发现, 随着迭代次数的增加, 天线高度趋于有限值, 长度却无限增长。这种设计有利于天线的小型化, 但迭代次数增加时, 增加了天线的复杂度, 因此, 曲线的迭代次数不宜太大。

表 1 Koch 分形双极天线的高度与长度随迭代次数增加的变化

Iteration	Height	Length	Iteration	Height	Length
0	0.475 λ	0.475 λ	3	0.332 λ	0.788 λ
1	0.399 λ	0.532 λ	4	0.326 λ	1.029 λ
2	0.354 λ	0.629 λ	5	0.324 λ	1.367 λ

3.2 分形环天线

众所周知, 在欧几里得几何中环天线是最常见也是经常研究的一种天线, 然而, 他们却具有一定的局限性, 谐振环要求巨大的空间、小环只有很低的输入阻抗等。针对这些缺点, 人们提出了一种分形环的天线, 目前所讨论的分形环天线主要包括 Koch 分形环、Minkowski 分形环等, 如图 3 所示。

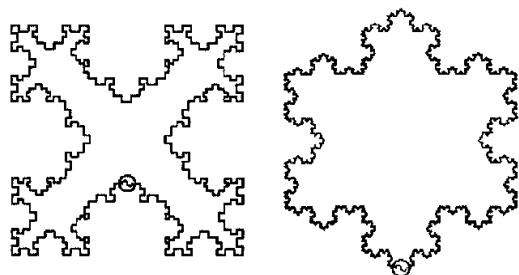


图 3 分形环天线

分形环天线与普通环天线相比较主要具有三个优势^{[14], [15]}: 其一是天线的小型化。在占据同样空间的基础上, 分形环可以压缩天线的长度, 使得天线环的周长在有限的空间内无限长, 天线的谐振频率降低。反过来说就是当频率较低时, 天线可以在较小的空间内利用分形曲线实现, 使得低频天线小型化; 其二是天线的辐射阻抗增加。普通小型环天线阻抗较小, 实现匹配非常困难, 利用分形环天线, 随迭代次数的增加, 辐射阻抗增加, 匹配更容易实现; 其三, 分形环天线比圆环天线具有更强的方向性。因此, 分形环天线更适合与小型化天线的设计。

3.3 Sierpinski 单极和双极天线

Sierpinski 三角形垫片是根据波兰数学家 Sierpinski 的名字命名的^[16], 1916 年 Sierpinski 发表了一篇文章^[17], 论述了这种分形几何的主要特性。Sierpinski 三角形垫片是从一个等边三角形中反复依次去掉一个反向的等边三角形构造出来的, 其分形维数为: $D = \log 3 / \log 2$, 如图 4 所示。Sierpinski 三角形垫片具有自相似结构, 其局部与整体、局部与局部都存在这种自相似性。

参考文献[18]重点讨论了 Sierpinski 单极、双极天线的驻波特性和辐射特性, 通过实验方法和数学分析方法的分析可知, Sierpinski 分形天线具有多频带特性。当对 Sierpinski 三角形垫片进行分形构造后, 其第一个层次的分形结构, 在低端产生了一个谐振点, 高端呈宽带状态。随着天线分形层次的不断深入(即减小内尺度), 或保持内尺度不变增大外尺寸(即改变外尺度)时, 原有的谐振点保持不变, 在高频端增加了新的谐振点, 保持相同的辐射特性, 而且谐振点的个数等于分形结构层次。各谐振点之间距呈倍数关系, 即按对数周期分布, 如果用频率的对数作为横坐标, 谐振点将近乎于等间距的、周期性的, 其周期为 $\ln 2$, 2 为分形结构的收缩比例。天线上的电流分布密度可以利用 FDTD 方法进行计算得到。

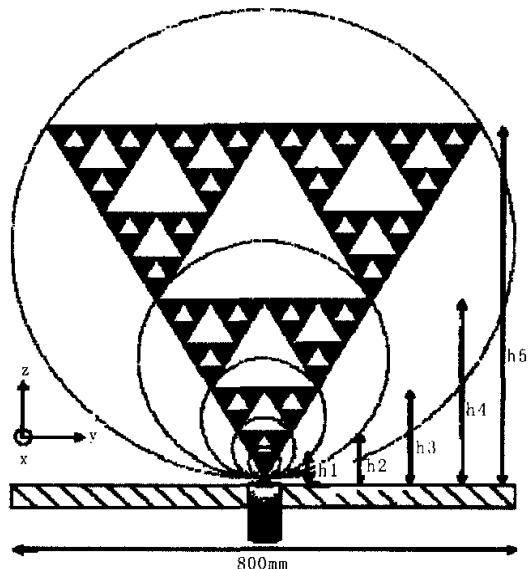


图 4 Sierpinski 单极天线

3.4 分形树

参考文献[19]、[20]讨论了各种分形树结构的天线，见图5。分形树天线类似于对数周期天线，其阻抗特性具有周期性，辐射特性是相似的。分形树天线其相邻谐振点之间比值不变，谐振点的个数与分形结构的层次之间存在某一固定关系，即每深入一个层次，则增加一个谐振点。可见分形树天线形成了多频带天线。

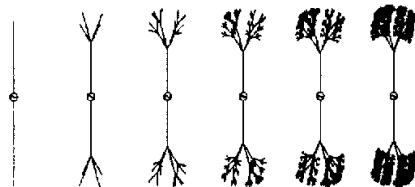


图5 分形树

4 分形天线阵列

分形几何应用于天线阵列的设计，主要有两种方式：(1)分形天线振子应用于均匀分布阵列中；(2)将阵列间距按分形集形式布局。1986年Kim和Jaggard^[15]首先将分形应用于天线阵列的设计，他们利用分形几何内在的规律探讨了低付瓣随机阵列的一种设计方法，该方法将生成元周期子阵的优点与初始元随机阵的优点结合起来，由自相似子阵组成一种准随机线阵。分形几何应用于天线阵列设计具有以下特点：(1)多频带、宽频带特性；(2)用迭代算法可快速计算方向图；(3)可系统地稀疏阵列；(4)可有效地设计大的平面阵列；(5)可实现低付瓣设计策略。下面我们讨论两种典型的分形天线阵列。

4.1 Cantor 集线性阵列

Cantor集(这里为 $\frac{1}{3}$ Cantor集)的生成规则是：不断地三等分线段，放弃其中间一段，可得到一系列集合，阵列天线的阵元位置按照Cantor集排列，如图6(A)所示^[21]。 $\frac{1}{3}$ Cantor集的维数为： $D = \ln 2 / \ln 3 = 0.6309$ 。Cantor集及其它分形

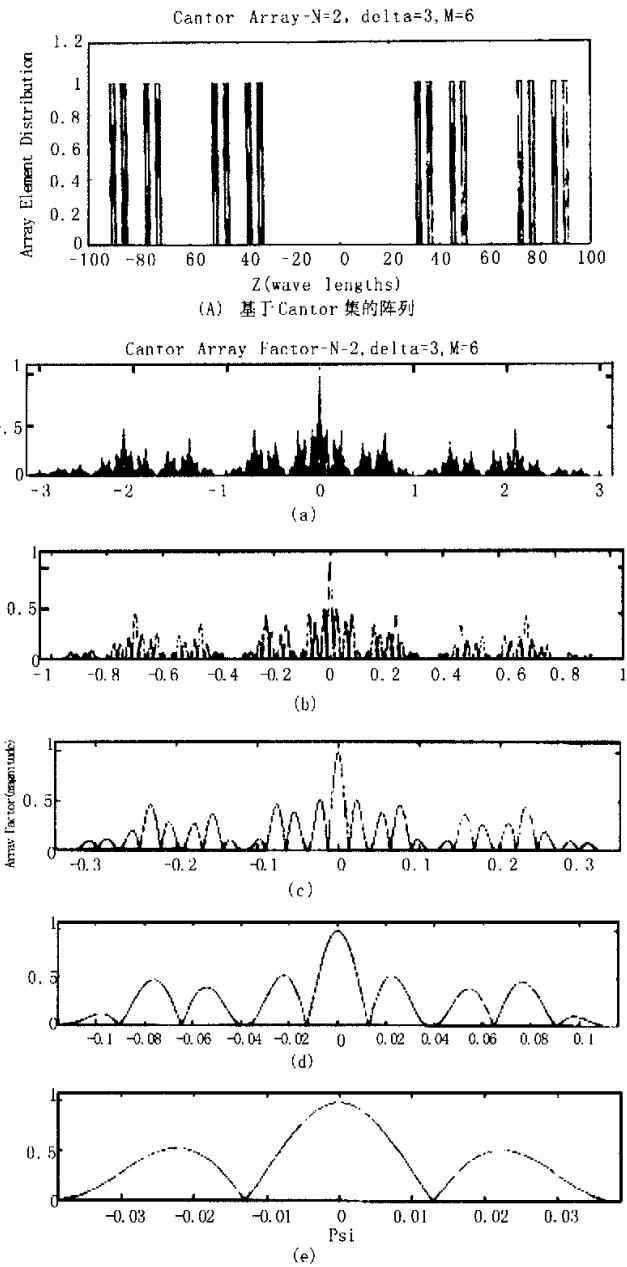


图6 基于Cantor集的阵列和Cantor集阵列的阵因子方向图

结构具有共同的特性，即在每一种标度下其子集与全集一样包含无穷多个点，因此，若将天线阵子放置在Cantor集的点上，则可以发现小的子结构在短波的辐射类似于整个结构在长波的辐射。

图6(B)为Cantor集线形分形天线阵列的阵因子方向图,从图中可以得出,阵因子方向图在一个空间周期内,不同阶数之间、整体与局部之间以及局部与局部之间均存在自相似性。而且随着阶数的增大,辐射方向图结构越来越细,低阶阵因子方向图是高阶阵因子方向图的包络。

4.2 Weierstrass 分形线性阵列

Weierstrass于1872年最先导出了有趣的比例函数,即Weierstrass函数,该函数处处连续,但处处不可导,并具有自仿射特性,即在所有测度内均显示出分形特征。考虑如图7所示的 $2N$ 个单元的不均匀对称直线阵,其离散直线阵阵因子函数与一维带限Weierstrass函数具有相同的形式^[22](当 $N \rightarrow \infty$ 时,离散直线阵阵因子函数是一个标准的Weierstrass函数),此直线阵称为Weierstrass分形线性阵列。

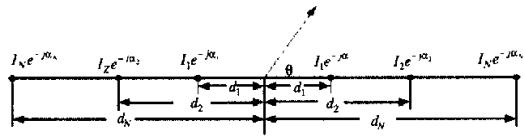


图7 不均匀对称直线阵

从Weierstrass分形线阵的研究可知,阵单元位置、激励电流分布服从指数律的不均匀对称直线阵可产生分形辐射方向图。激励电流幅度分布决定辐射方向图的分形维数,电流幅度递减率越小,分形维数则越大,辐射方向图变得越不规则,填充的空间越多;阵列单元数控制着分形辐射方向图的测度范围,随着阵元数的增多,分形辐射方向图具有更加精细的纹理结构。

5 结论

由前面的讨论可知,分形几何应用于天线振子和天线阵列的设计,具有广泛的应用前景,而且最近发表的一些文章也证明了各种分形天线振子和分形天线阵列的有效性。利用分形理论设计天线振子和天线阵列,可以使天线更加小巧、轻便,同时可以使得天线振子和天线阵列具有多频带、宽频带特性,特别适合于当前宽带、超宽带通信业务的发展。

将来,分形天线的研究主要侧重于下面几个方

面。第一是实现分形天线在当前实际通信环境中的应用。在应用中,需要对天线的极化方向作严格的分析,同时还要考虑这种谐振天线较低的辐射区域。第二是实现用于宽频通信的微带分形天线的实用化。分形天线作为微带天线,主要研究他们的表面波辐射,以及当分形天线阵印制在电介质上时,如何通过改变分形天线振子或阵列的配置参数、减少表面波的激励,减少天线振子之间的相互耦合等内容。
█

参考文献

- [1] B.B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, 1983
- [2] Jaggard, D.L., On fractal electrodynamics, in *Recent Advances in Electromagnetic theory*, edited by H.N. Kritikos and D.L. Jaggard, pp. 183~224, Springer-Verlag, New York 1990
- [3] D.L. Jaggard, and X. Sun, Scattering from fractally corrugated surfaces. *J. Opt. Soc. Am A.Opt. Image Sci.*, 1990; (7): 1131~1139
- [4] Konotop, V.V., O.I. Yordanov, Wave transmission through a one-dimensional Cantor-like fractal medium, *Europhys. Lett.*, 1990; (12): 481~485
- [5] Y. Kim and D.L. Jaggard, The fractal random array, *Proc. IEEE*, 1986; 74(9): 1278~1280
- [6] D.H. Werner and P.L. Werner, On the synthesis of fractal radiation patterns, *Radio Sci.*, Jan.-Feb. 1995; 30: 29~45
- [7] 徐良, 吴振森, 汪文秉. 分形阵列天线研究. 西安电子科技大学学报, 1996; 23(4)
- [8] C. Puente, J. Romeu and el. et, Multiband antenna based on the sierpinski gasket, *IEE Electronics Letters*, 4th Jan., 1996; 32(1)
- [9] N. Cohen, Fractal antenna applications in wireless telecommunications, *Proceedings of Electronics Industries Forum of New England*, 1997; 43~49
- [10] C. Puente-Baliarda, J. Romeu, R. Pous, and A. Cardama,

下转第33页 ►

6 结束语

我国人口众多，城市密集，3G通信网络也将面临频率资源紧张与用户高速增长的矛盾，移动自组网作为3G的接入网技术在无线通信领域内的广泛应用将大大缓解这一矛盾，并能有效的提高3G网络的容量。同时，利用基于3G的自组织网产品的组网特性还可以实现家用电器的网络化、信息化、智能化。



参考文献

- [1] On the Relaying Capability of Next-Generation GSM Cellular Networks, George Neonakis Aggou, University of Surrey.
- [2] Multi-hop Cellular-A New Architecture for Wireless Communications Ying-Dar Lin and Yu-Ching

Hsu , Department of Computer and Information Science National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.

- [3] Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems-iCAR, Hongyi Wu, IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2001; 19(10)
- [4] Ad hoc mobile wireless networks, protocols and systems, C.-K Toh

作者简介

- 李青 信息工程大学硕士研究生，主要研究方向为移动通信。
- 陈唯 信息工程大学博士研究生，主要研究方向为移动通信。
- 于宏毅 信息工程大学教授，博士生导师。

◀上接第 20 页

- [10] C. Puente-Baliarda, J. Romeu, R. Pous, and A. Cardama, On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna, IEEE Trans. on Antennas and Prop., 1998; AP-46: 517~524
- [11] John Gianvittorio, Fractal Antennas: Design, Characterization, and Applications Master thesis, University of California, 2000
- [12] C. Puente, J. Romeu, R. Pous, J. Ramis, and A. Hijazo, Small but long koch fractal monopole, Electronics Letters, 1998; 34(1): 9~10
- [13] C. Puente, J. Romeu, R. Pous, A. Cardama, The koch monopole: A small fractal antenna, IEEE transactions on antennas and propagation, 2000; 48(11)
- [14] S. R. Best, The fractal loop antennas: A comparison of fractal and non-fractal geometries, Antennas and propagation society, 2001 IEEE international Sym. 2001; 3: 146~149
- [15] J. P. Gianvittorio, and Y. Rahmat-Smaïl, Fractal antennas: A novel antenna miniaturization technique, and applications, IEEE antennas and propagation Magazine, 2002; 44: (1)
- [16] H. O. Peitgen, H. Jurgens and D. Saupe, Chaos and Fractals, New York: Springer-Verlag, 1988
- [17] W. Sierpinski, Sur une courbe dont tout point est un point de ramification, C. R. Acad., Paris 160 302, 1915
- [18] Carles Puente-Baliarda, On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna and Propagation, 1998; 46 (4): 517~524
- [19] C. Puente, J. Claret, F. Sagues, J. Romeu, M. Q. Lopez-Salvans and R. Pous, Multiband properties of a fractal tree antenna generated by electrochemical deposition, Electronics letters, 1996; 32(25)
- [20] M. Sindou, et. Multiband and wideband properties of printed fractal branched antennas, Electronic Letters, 1999; 35 (3): 181~182
- [21] D. H. Werner and P. L. Werner, Frequency independent features of self-similar fractal antennas, Radio Sci., 1996; 31 (6): 1331~1343
- [22] C. Puente-Baliarda, and R. Pous, Fractal design of multiband and low side-lobe arrays, IEEE Trans. On Antennas and Prop., 1996; 44(5): 730~739
- [23] 徐良, 吴振森, 汪文秉 分形阵列天线研究, 西安电子科技大学学报, 1996; 23(4)

分形天线的应用研究

作者: 田铁红, 周正
作者单位: 北京邮电大学
刊名: 无线电工程
英文刊名: RADIO ENGINEERING
年, 卷(期): 2003, 33(3)
被引用次数: 7次

参考文献(23条)

1. [B B Mandelbrot](#) 查看详情 1983
2. [Jaggard D L](#) On fractal electrodynamics, in [Recent Advances in Electromagnetic theory](#) 1990
3. [D L Jaggard;X • Sun](#) Scattering from fractally corrugated surfaces[外文期刊] 1990(07)
4. [Konotop V V;O • I • Yordanov](#) Wavetransmission through a one-dimensional Cantor-like fractal medium 1990(12)
5. [Y Kim;D. L. Jaggard](#) The fractal random array[外文期刊] 1986(09)
6. [D H Werner;P. L. Werner](#) On the synthesis of fractal radiation patterns 1995
7. 徐良;吴振森;汪文秉 分形阵列天线研究 1996(04)
8. [C Puente;J • Romeu;el • Ct](#) Multiband antenna based on the sierpinski gasket 1996(01)
9. [N. Cohen](#) Fractal antenna applications in wireless telecommunications 1997
10. [C Puente-Baliarda;J. Romeu;R. Pous](#) On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna [IEEE Trans](#) 1998
11. [John Gianvittorio](#) Fractal Antennas:Design, Characterization, and Applications Master thesis, University o California 2000
12. [C Puente;J. Romeu;R. Pous;J. Ramis, A. Hijazo](#) Smal but long koch fractal monopole[期刊论文]- [Electronics Letters](#) 1998(01)
13. [C Puente;J. Romeu;R. Pous;A. Cardama](#) The koch monopole A small fractal anrenna 2000(11)
14. [S R Best](#) The fractal loop antennas: A comparison o fractal and non-fractal geometries, [Antennas and propagation society](#) 2001
15. [J P Gianvittorio;Y. Rahmat-Smaii](#) Fractal antennas: A novel antenna miniaturization technique, and applications 2002(01)
16. [H O Peitgen;H • Jurgens;D • Saupe](#) Chaos and Fractals 1988
17. [W Sierpinski](#) Sur une courbe don't tout point est un point de ramification 1915
18. [Carles Puente-Baliarda](#) On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna and Propagation[外文期刊] 1998(04)
19. [C Puente;J. Claret;F. Sagues;J. Romeu, M.Q. Lopez-Salvans and R. Pous](#) Multiband properties of a fractal tree antenna generated by electrochemical deposition[外文期刊] 1996(25)
20. [M Sindou](#) Multiband and wideband properties of printed fractal branched antennas[外文期刊] 1999(03)
21. [D H Werner;P. L. Werner](#) Frequency independent features of self-similar fractal antennas 1996(06)
22. [C Puente-Baliarda;R. Pous](#) Fractal design of multiband and low side-lobe arrays, [IEEE Trans](#)

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)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)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)，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>