

一种新型超宽带小型化天线的仿真研究

赵 旭， 王一笑， 王伟光

(中国航天科工集团 8511 研究所 南京 210007)

摘要:在电子情报侦察领域中,机载和地面电子侦察设备都遇到低端测向天线阵中单元天线尺寸过大的问题,制约了电子侦察设备的发展。提出一种小型化对数周期天线,通过采用传统对数周期天线与分形几何学相结合的方式,有效地缩减了天线的几何尺寸。建模仿真结果表明,天线性能与同频段传统对数周期天线相同,而天线的几何尺寸只有传统对数周期天线的40%,能够很好地解决电子侦察设备低端测向天线阵单元天线尺寸过大的问题。

关键词:分形几何学； 对数周期天线； 电子侦察

中图分类号:TN82

文献标识码:A

文章编号:CN11-1780(2012)03-0055-04

引 言

随着地面和机载电子侦察技术的发展,近年来对其前端测向阵的小型化提出了迫切需求。传统天线在低频段有明显的缺点,测向阵单元天线尺寸大导致整个测向阵列结构庞大,严重制约其隐蔽性,并且影响测向天线阵基线的排布和测向精度。因此,迫切需要运用新的设计方法和理念,探索低端天线小型化的设计思路,解决传统天线尺寸大的问题。根据文献资料研究发现,将分形理论应用到天线工程问题中,理论上可设计出与传统天线性能指标相当、尺寸缩小的新型天线。这种新型天线的应用,必将使地面和机载电子侦察前端测向天线阵在结构尺寸上有明显的改善,促进电子侦察技术的发展。

1 分形理论应用于传统对数周期天线的理论分析

分形几何学是 Mandelbrot 为解决电话噪声而创立的非欧几里德几何学^[1,2]。1973 年他在法兰西学院讲课时,首次提出了分维和分形几何学的设想。分形几何学是一门以非规则几何形态为研究对象的几何学。发展到现在,分形理论^[3]已经成为一门交叉学科。通常分形几何结构由迭代函数产生,而迭代函数是描述分形结构的通用方法,它建立在一系列自仿射变换 w 的基础之上, w 可用公式表示为

$$w(x, y) = (ax + by + e, cx + dy + f) \quad (1)$$

式(1)中, a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 都是实数。因此自仿射函数可由这六个参数来表示。其中 a 、 b 、 c 、 d 控制旋转和比例变换; e 、 f 控制线性平移。

假设 w_1, w_2, \dots, w_N 是一系列自仿射变换, A 表示最初的图形。通过对 A 应用变换得到 $w_1(A), w_2(A), \dots, w_N(A)$, 对这些结果做并集处理, 就得到了新的几何图形, 用公式表示为

$$W(A) = \bigcup_{n=1}^N w_n(A) \quad (2)$$

式(2)中, W 称为 Hutchinson 算子, 重复 W 于前一级图形就得到了分形几何。因此, 如果 A_0 表示原始图形, 那么,

$$A_1 = W(A_0), A_2 = W(A_1), \dots, A_{k+1} = W(A_k) \quad (3)$$

而最终得到的 A_∞ 具有式(4)所示性质。

$$A_\infty = W(A_\infty) \quad (4)$$

根据分形理论的特点,分形结果具有自相似性。分形图形由迭代原理生成,典型的分形图有 Koch 雪花和 Sierpinski 地毯两种,这种高度“病态”的几何形体,体现了自然界最普遍形体。而现代宽带天线一个最大的特点就是天线形状必须具有自相似性。由于分形是一种与标度无关的几何,它与宽带天线的频率无关性比较相似,因此可将分形几何应用于天线设计,展宽天线带宽,同时分形图形的空间填充性可使天线尺寸得到缩减^[4,5]。

传统对数周期天线是一种与频率无关的天线,它有很多种类,如梯形齿结构对数周期天线、劈型齿对数周期天线、自补型齿对数周期天线以及偶极子对数周期天线等。在工程中应用最广泛的是仅仅采用平行的直导线来构建的对数周期天线,即偶极子对数周期天线。偶极子对数周期天线由一系列在馈电点处向外连续增长的平行直线偶极子组成,按照对数周期规律排列。一般用平行双导线对各振子馈电,平行双导线即集合线,相邻振子是反相馈电的,即集合线对各单元振子馈电是采用交叉方式进行的。馈电的能量沿集合线传输,依次对各个振子激励,只有接近工作波长的振子才能激励起较大的电流,向空间形成有效的辐射,即在这些振子处形成有效的辐射区,从顶端馈电点到有效辐射区的这段振子称为传输区。因此偶极子对数周期天线也是一种具有有效辐射区概念的宽带天线。

传统的对数周期天线设计,应遵循以下设计原则:

$$\tau = l_{n+1}/l_n = R_{n+1}/R_n \quad (5)$$

$$\alpha = 2\arctan((l_n/2)/R_n) \quad (6)$$

式(5)中, τ 为比例因子, l_n 是第 n 个振子的长度, R_n 是第 n 个振子到天线顶点的距离, α 为结构角。

根据上述对分形理论与传统对数周期天线理论的分析,两者的结合必然能使其在电性能和辐射特性保持不变的条件下,改善传统对数周期天线在低频段尺寸过大的缺点。

2 新型对数周期天线的结构设计和仿真分析

根据前面所述的理论基础,结合分形理论的形状相似性,我们对传统对数周期天线的振子形状做了周期性结构,使其具有相似性,在缩短振子长度的同时不影响每个振子的谐振点。

2.1 新型对数周期天线的结构设计

本文提出了一种新型的对数周期天线,该天线采用树状分形对称振子,这种振子的生成方法如图 1 所示,在普通振子臂的两个三等分点处分别引出两段,长度均为原振子臂长度的 $1/3$ 。这样就形成了一次树状分形对称振子,以此类推,可以生成二次乃至高次树状分形对称振子。每分形一次,天线总的物理长度增加为原来长度的 $5/3$,使得天线在横向长度不变的情况下降低工作频率。



图 1 树状分形振子生成示意图

新型对数周期天线是在普通对数周期天线的基础上设计出来的。首先设计出普通对数周期天线的结构参数,然后再对天线振子进行树状分形处理,最后得出符合要求的新型对数周期天线的结构参数。

根据实际工程需求,设计了一副工作频段为 $0.4\text{GHz} \sim 1.6\text{GHz}$ 的新型对数周期天线。我们取 $\tau = 0.85$, $\alpha = 0.42$, 可得最长振子长度 $l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = 375\text{mm}$, 振子数 $N = 15$, 集合线宽

$w = 3\text{mm}$, 印制板厚度 $h = 2\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r = 3.5$, 双面印

刷。经过树状分形处理后,结构示意图如图 2 所示,最长振子长度为 162mm ,与普通对数周期天线的最长振子长度 375mm 相比,缩短了近 60% 。

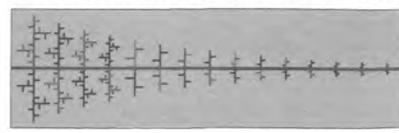


图 2 新型对数周期天线结构示意图

2.2 新型对数周期天线的仿真设计及分析

根据上述结构参数,本文采用 Ansoft HFSS 软件对该新型对数周期天线进行了建模仿真,VSWR 仿真结果示于图 3,0.4GHz、1.0GHz 和 1.6GHz 时 E 面、H 面方向图分别示于图 4、图 5 和图 6。新型对数周期天线的主要技术指标列于表 1。

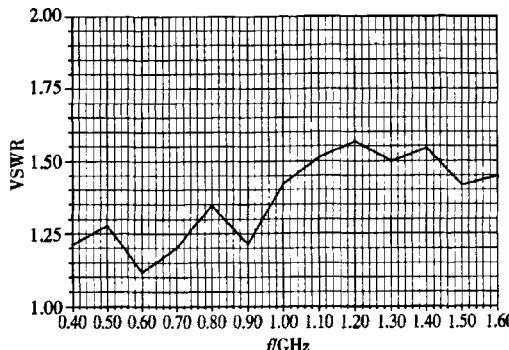


图 3 VSWR 仿真结果

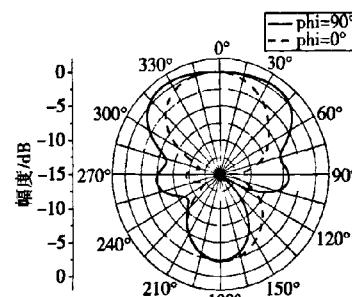


图 4 0.4GHz 时 E 面和 H 面方向图

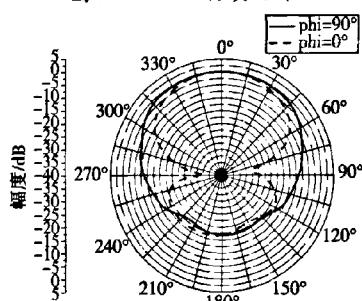


图 5 1.0GHz 时 E 面和 H 面方向图

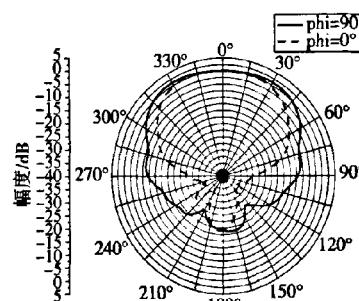


图 6 1.6GHz 时 E 面和 H 面方向图

由表 1 可以看出,新型对数周期天线与传统对数周期天线性能指标相当,但是在横向振子尺寸上有很大优势,约为传统振子长度的 40%。

3 总 结

本文基于分形理论对传统对数周期天线进行改进,通过设计、建模仿真,分析其电性能以及辐射特性。本文成功设计了一种 0.4GHz ~ 1.6GHz 的新型对数周期天线,在与传统天线性能指标相当的情况下,新型对数周期天线在尺寸上有明显的缩小,达到了预期的效果。这种新型天线将进一步在工程实际中得到广泛的应用。

表 1 新型对数周期天线主要技术指标

频率 (GHz)	轴向增益 (dB)	波束宽度 (E × H)	天线尺寸 (mm)
0.4	5.8	75° × 130°	162 × 530
1.0	7.8	80° × 120°	
1.6	7.9	85° × 115°	

参考文献

- [1] Rahim M K, Abdullah N, M. Z. A. Abdul Aziz. Microstrip Sierpinski Carpet Antenna Design [C]. IEEE Asia-Pacific Conference, 2005, 20 ~ 21.
- [2] Douglas H. Werner, Suman Ganguly. An Overview of Fractal Antenna Engineering Research [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1), 38 ~ 57.
- [3] Puente C, Romeu J, Pous R, Cardama A. The Koch Monopole A Small Fractal Antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2000, 48(11): 1773 ~ 1781.
- [4] John P. Gianvittore, and Yahya Rahmat-Samii. Fractal Antennas: A Novel Antenna Miniaturization Technique and Applications [J]. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, 2002, 44(1), 20 ~ 36.
- [5] 许 峰. 若干分形天线分析研究 [D]. 西安电子科技大学硕士学位论文, 2002, 1 ~ 2.

Study and Simulation of a New Ultra-wideband Small Antenna

Zhao Xu, Wang Yixiao, Wang Weiguang

Abstract: In the electronic intelligence reconnaissance field, there are some problems that the elements in the direction-finding array working at the low frequency band are oversize in the airborne electronic reconnaissance equipments and the ground electronic reconnaissance equipments, which restrict the development of the electronic intelligence reconnaissance equipment. This paper proposes a new small log periodic antenna (LPA), which miniaturizes the size of the traditional LPA effectively by using the fractal geometry. The simulation results show that the performance of this new antenna is as good as the traditional LPA working at the same frequency band, while the size of the new antenna reduces to 40% of the traditional LPA. The problem that the antenna elements are oversize in the direction-finding array working at the low frequency band is solved well.

Key words: Fractal geometry; LPA; Electronic reconnaissance

[作者简介]

赵旭 1976年生,高级工程师。主要研究领域为超宽带天线、电子对抗天线的理论及工程应用。

王一笑 1982年生,工程师。主要研究领域为超宽带天线理论及工程应用。

王伟光 1965年生,高级工程师,微波研究室主任。主要研究领域为电子对抗系统理论及工程应用。

(上接第54页)

参考文献

- [1] ElSherbiny M, Fathy E, et al. Holographic Antennas: Concept, Analysis, and Parameters [J]. IEEE Trans. Antennas&Propag., 2004, 52(3): 830 ~ 839.
- [2] Sooriyadevan P, McNamara D A, et al. Electromagnetic Modelling and Optimization of a Planar Holographic Antenna [J]. IET Microw. Antennas Propag., 2007, 1(3): 693 ~ 699.
- [3] Levis K, Ittipiboon A, et al. Ka-band Dipole Holographic Antennas [J]. IEE Proc. Microw. Antennas Propag., 2001, 148(2): 129 ~ 132.
- [4] Petosa A, Thirakoune S, Levis K, et al. Microwave Holographic Antenna with Integrated Printed Dipole Feed [J]. Electronic Letters, 2004, 40(19).
- [5] Quach T, et al. Holographic Antenna Realized Using Interference Patterns Determined by the Presence of Dielectric Substrate [J]. Electronic Letters, 2005, 41(13).
- [6] Balanis C A. Antenna Theory: Analysis and Design [M]. John Wiley&Sons, 2001.

Research on Holographic Antenna: Theories and Experiments

Li Ying, Zhu Qi, Mo Ruiming

Abstract: Based on the principles of holographic antenna construction, the interference of the radiation fields of source antenna and the ideal plane wave is analyzed. Consequently, the positions of the holographic structure are determined. Furthermore the expressions of the positions of the holographic structure are achieved by simplifying the calculation of the minima of the interference fields. As examples, one-dimensional, two-dimensional and quasi three-dimensional holographic antennas, which are composed of the dipole and the holographic structure, are simulated and measured. The results reveal that the radiation characteristics of conventional antennas can be significantly improved by the holographic structure.

Key words: Holography; Aperture antenna; High-gain antenna; Antenna radiation pattern

[作者简介]

李迎 1987年生,硕士。主要研究方向为天线设计。

朱旗 1968年生,教授,博士生导师。主要研究方向为电磁场与微波技术。

莫瑞明 1987年生,硕士。主要研究方向为天线设计。

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>