

文章编号: 1000-5862(2014)02-0124-04

一种基于 Minkowski 分形边界的小型化宽频蝶形天线

刘海文^{1,2}, 覃 凤², 雷久淮², 王 言², 杨 峰¹, 彭苏萍¹

(1. 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083;

2. 华东交通大学信息工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 利用 Minkowski 分形边界结构, 设计了一款面向全球定位系统应用的宽频带蝶形天线. 通过对不同迭代次数的分形天线进行仿真对比, 选取 2 次迭代的分形结构设计了工作于 GPS 波段的蝶形天线, 加工制作出该天线并对其进行测试, 测试结果和仿真结果吻合较好, 从而验证了设计方法的正确性. 与具有相同谐振频率的方形贴片天线相比, 该天线面积缩减了约 28.7%, 这说明分形结构的空间填充性可以用来增加天线辐射单元的有效电长度, 实现天线的小型化设计, 而且分形结构的引入对天线的方向图特性没有影响.

关键词: 碟形天线; Minkowski 分形边界; 宽频带; 小型化

中图分类号: TN 454

文献标志码: A

0 引言

随着移动通信、全球定位系统和卫星通信系统的发展, 蝶形平面天线的研究已成为一个热点研究课题. 蝶形天线^[1]作为双锥天线的平面形式, 由于其具有结构简单、易于匹配和易于实现等特点而得到了广泛的研究和应用. 但是, 蝶形天线也存在相对较大尺寸的不足. 在实现天线的小型化方面, 国内外学者已经做了大量的研究工作, 如在天线的几何结构上采用介质加载^[2]、导线加载^[3]、短路销钉结构^[4], 以及利用分布式集总元件^[5]来改善天线阻抗, 从而在较宽的频率范围内减小天线尺寸. 然而, 这些方法会对天线其他性能产生较大影响. 为了得到紧凑的天线结构且对天线其他性能的影响不大, 近年来在改进天线结构方面做了较多研究, 其中一种有效的方式, 就是将分形结构应用到天线设计中. 由于分形结构具有自相似性和空间填充性, 可用于实现天线的宽频(或多频)化和小型化设计.

目前, 利用分形结构设计具有优越性能的天线有很多种方法, 其中 Sierpinski 分形单元^[6-9]、Minkowski 贴片^[10]、Giuseppe Peano 贴片^[11]以及 Koch 曲线^[12]等已经被用于设计多频带或宽频带的小型化天线. 此外, 通过将不同的分形结构结合起来, 还可以实现面向 RFID 应用的双通带天线^[13]. 在文献[14]中, Li Daotie 等详细研究了一种基于新型的 Koch 分形边界的蝶形偶极子天线, 文献[15]讨

论了基于双模开环谐振器的双通带带通滤波器的设计问题.

本文提出了一种基于 Minkowski 分形边界结构的蝶形微带天线, 由于分形结构的空间填充性, 使得天线辐射单元上电流分布的路径更长, 因而导致谐振频率降低. 最后通过仿真对比了不同迭代次数分形天线的特性, 选取 2 阶分形结构设计, 并制作了这种面向 GPS 应用的蝶形天线, 对它的谐振频率特性和辐射特性进行了分析. 测试和仿真结果表明, 该天线具有尺寸缩减性, 同时, 这种方法对天线的辐射特性影响很小.

1 天线设计和分析

如图 1(a)所示, 本文所设计的蝶形微带天线的初始单元, 是一对顶角相对放置的方形贴片. 在顶点处采用 50 Ω 微带线对该参考天线进行馈电. 在如图 1(a)所示的天线结构基础上, 从方形贴片的各边中间位置, 刻蚀出尺寸大小为 $W_{f_1} \times L_{f_1}$ 的小矩形, 从而形成如图 1(b)所示的 1 阶分形天线结构. 在此基础上, 用同样的方法从 1 阶 Minkowski 分形后得到的天线结构, 刻蚀出大小为 $W_{f_2} \times L_{f_2}$ 的矩形, 由此得到 2 阶分形天线, 如图 1(c)所示.

按照该方法迭代下去, 便可以形成更高阶的 Minkowski 分形天线. 随着迭代次数的增加, 天线越紧凑, 但与此同时天线结构更复杂, 仿真和加工也更

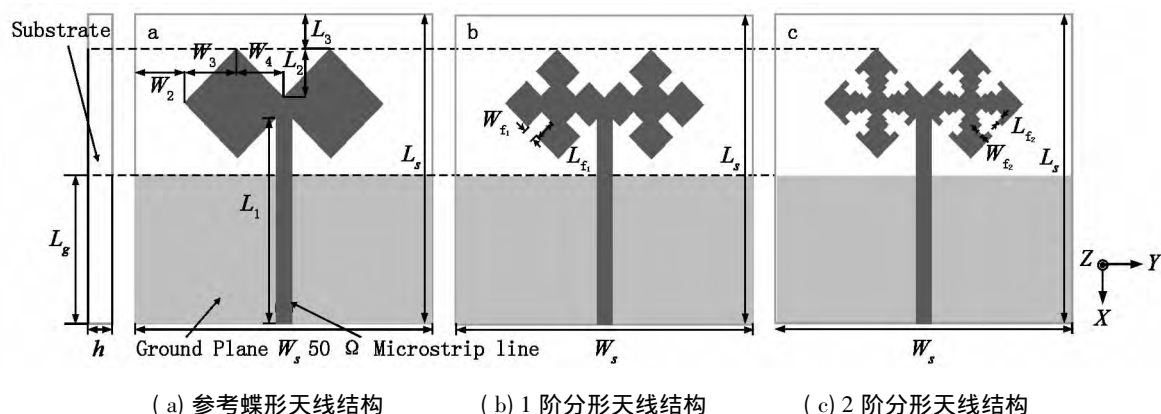
收稿日期: 2013-12-17

基金项目: 国家自然科学基金(61061001, 61261041)资助项目.

作者简介: 刘海文(1975-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事微波技术及 MMIC 电路的研究.

加困难.因此,在可行性与加工复杂度之间需要做一个折衷.取2次迭代的 Minkowski 准分形结构,观察其对天线性能的影响.用商业电磁仿真软件 HFSS 13.0

对1阶、2阶分形天线的主要结构参数 W_{f1} , L_{f1} , W_{f2} 以及 L_{f2} 进行仿真优化,以获得最适合 GPS 应用的谐振特性.



注: $W_1 = 1.8$, $W_2 = 8.9$, $W_3 = 8.5$, $W_4 = 7.6$, $L_1 = 330$, $L_2 = 7.6$, $L_3 = 6.5$, $h = 0.8$, $L_s = 26.0$, $L_s = W_s = 50.0$ (单位: mm)

图1 蝶形微带天线设计

图2和图3分别给出了对于以上结构参数 L_{f1} , W_{f1} , L_{f2} 和 W_{f2} 的不同取值,1阶、2阶分形天线谐振特性的仿真结果.从图2和图3可以看出,对于确定的分形阶数,随着这些参数取值的增大,谐振频率逐渐

下降.根据以上参数优化分析,选定优化后的参数取值为 $W_{f1} = 2.0$ mm, $L_{f1} = 3.0$ mm, $W_{f2} = L_{f2} = 1.0$ mm.

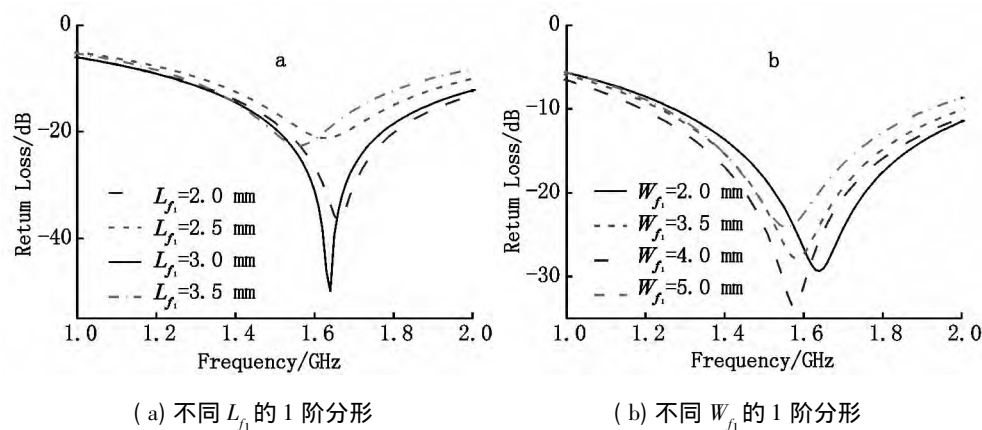


图2 天线谐振特性

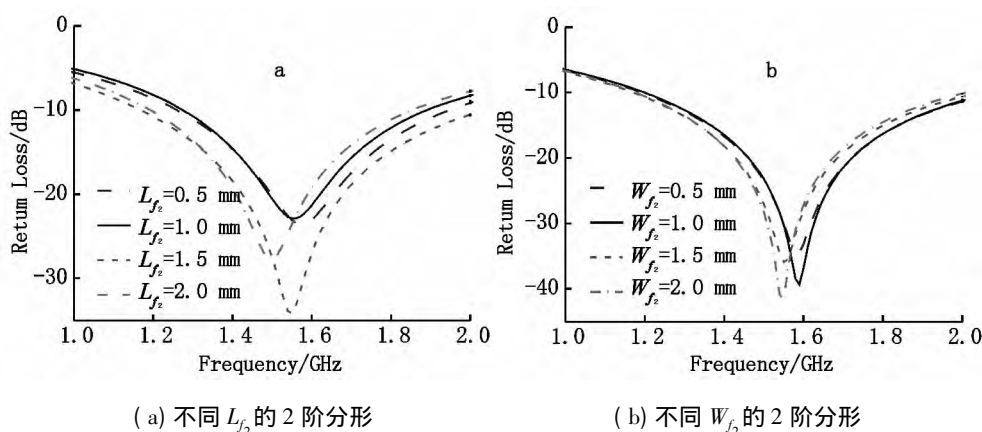


图3 天线谐振特性

为了更直观地分析分形天线的谐振频率特性,突显其小型化效果,图4将不同迭代次数的分形天线仿真得到的谐振特性进行了对比.分形处理前,参

考蝶形天线的中心频率位于 1.73 GHz,最大回波损耗约 50 dB,同时,回波损耗大于 10 dB 的频带宽度为 0.99 GHz,相对带宽 57.2%;1次迭代后所得到

的分形天线谐振在 1.62 GHz, 频带覆盖 1.21 ~ 2.14 GHz 的范围, 相对带宽上升到 57.4%; 2 次迭代后, 天线中心频率下降至 1.57 GHz, 回波损耗大于 10 dB 的频带范围为 1.16 ~ 2.11 GHz, 相对带宽为 60.5%。总的来说, 随着分形迭代次数的增加, 天线的谐振频率下降, 相对带宽增大。此外 2 次迭代后, 蝶形天线的谐振特性满足 GPS 系统的应用需求。

为了进一步研究 Minkowski 分形边界结构对天线辐射性能的影响, 不同迭代次数的分形天线在各自谐振点处的方向图如图 5 所示。分形前后天线的方向图基本相同, 分形后的天线增益稍微有所下降, 由此可见, 其辐射特性比较稳定, 几乎不受分形的影响。因此, Minkowski 分形边界结构可用于取代方形

贴片以设计具有优良性能的小型化蝶形微带天线。

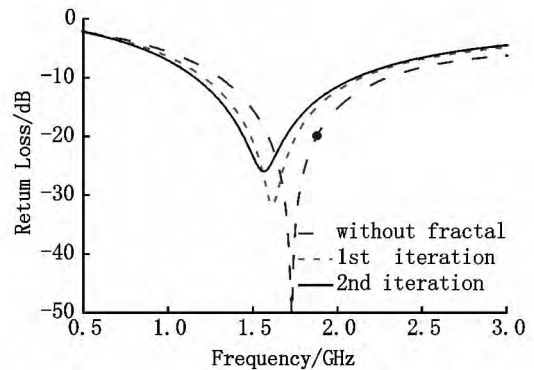
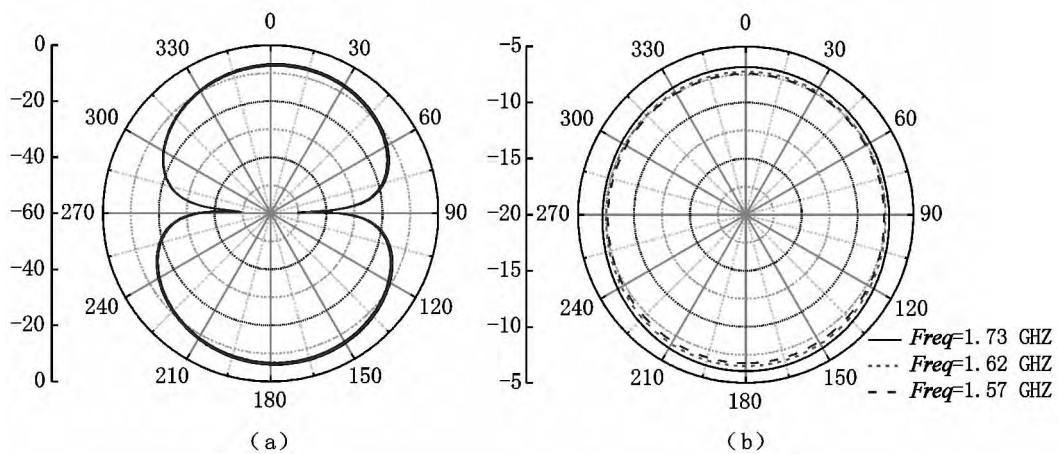


图 4 不同迭代次数的分形天线谐振特性对比



(a) E 面方向图;

(b) H 面方向图

图 5 不同迭代次数的分形天线方向图对比

2 测量结果及分析

为验证前面的分析, 加工制作出基于 2 阶 Minkowski 分形边界的、面向 GPS 应用的蝶形微带天线, 采用厚 0.8 mm 相对介电常数为 3.5 ± 0.05 , 损耗角为 0.0015 的 Taconic RF-35A2 介质板。天线的加工实物照片以及仿真测试的回波损耗对比见图 6 和图 7。

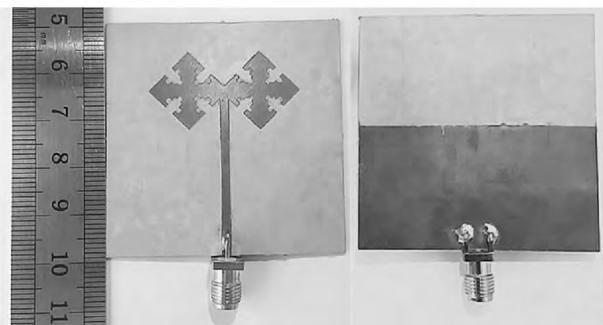


图 6 2 阶 Minkowski 分形天线实物照片

从图 7 可以看出, 天线实测的谐振频率在 1.60

GHz, 最大回波损耗 32 dB, 回波损耗大于 10 dB 的频率范围为 1.30 ~ 2.0 GHz, 测试的相对带宽为 43.75%。其测试结果和仿真结果之间的差异, 主要是由介质板的不稳定性及制作容差导致的。与谐振在相同频率的、采用方形贴片设计的传统蝶形天线相比, 本文提出的 2 阶 Minkowski 分形天线获得了大约 28.7% 的面积缩减, 这主要得益于分形结构的空域填充性, 使得天线的辐射单元具有更复杂的几何形状, 其有效电长度相应增加, 电流路径增长, 从而降低了天线的谐振频率, 实现小型化设计。

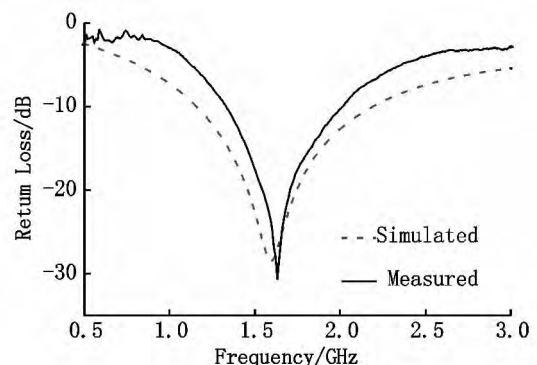


图 7 天线仿真和实测的回波损耗对比

3 结论

本文提出了一种基于 Minkowski 分形边界的宽频带蝶形天线,并详细研究了天线设计中的主要结构参数对天线谐振特性的影响。通过对比不同迭代次数的分形结构对天线谐振特性及辐射特性的影响,结果表明,Minkowski 分形边界结构可以在不损害辐射特性的同时,实现天线的小型化设计。通过对加工制作出的天线进行测试,证实了该设计方法的有效性。仿真与实测结果都表明:该分形天线具有尺寸缩减性,可以提供优良的天线性能及较宽的频带宽度,而且本文所设计的分形蝶形天线满足 GPS 应用的需求。因此,Minkowski 分形边界贴片可用于取代方形贴片以设计具有良好性能的小型化天线。

4 参考文献

- [1] Compton R C, McPhedran R C, Popovic Z, et al. Bow-tie antennas on a dielectric half-space: theory and experiment [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1987, 35(6): 622-631.
- [2] Filipovic D S, Nurnberger M, Volakis J L. Ultra wideband slot spiral with dielectric loading: measurements and simulations [J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2000, 3: 1536-1539.
- [3] Ghosh B, Haque S K M, Yenduri N R. Miniaturization of slot antennas using wire loading [J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letters 2013, 12: 488-491.
- [4] 董加伟. 一种新颖的小型化宽带全向天线的设计 [J]. 国防技术基础 2013, 7(4): 28-30.
- [5] Lee M, Chen C C, Volakis J L. Ultra-wideband antenna miniaturization using distributed lumped element loading [J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2005, 1B: 549-552.
- [6] Anguera J, Puente C, Borja C, et al. Small and high-directivity bow-tie patch antenna based on the Sierpinski fractal [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2001, 31(3): 239-241.
- [7] Song C T P, Hall P S, Shiraz H G. Perturbed Sierpinski multiband fractal antenna with improved feeding technique [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(5): 1011-1017.
- [8] Soliman E A, Raedt W D, Vandenbosch G A E. CPW-fed fractal bow-tie antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters 2007, 49(7): 1587-1589.
- [9] Saidatul N A, Azremi A A H, Ahmad R B, et al. A development of fractal PIFA(planar inverted F antenna) with bandwidth enhancement for mobile phone applications [EB/OL]. [2013-10-09]. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&number=5352584&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5347303%2F53523-59%2F05352584.pdf%3Farnumber%3D5352584>.
- [10] Chen Lina, Jiao yongchang, Xie Huanhuan, et al. Minkowski fractal patch antenna for size and radar cross-section reduction [J]. IEEE CIE International Conference on Radar 2011, 2: 1406-1409.
- [11] Oraizi H, Hedayati S. Miniaturization of microstrip antennas by the novel application of the Giuseppe Peano fractal geometries [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2012, 60(8): 3559-3567.
- [12] Zhou Jianhua, Luo Yong, You Baiqiang, et al. Novel tri-band antenna end-loaded with Koch fractal loops [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2012, 54(3): 620-623.
- [13] Kimouche H, Zemmour H, Atrouz B. Dual-band fractal shape antenna design for RFID applications [J]. Electronics Letters 2009, 45(21): 1061-1063.
- [14] Li Daotie, Mao Junfa. A Koch-like sided fractal bow-tie dipole antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2012, 60(5): 2242-2251.
- [15] 刘海文, 雷久淮, 赵玉龙, 等. 基于双模开环谐振器的双通带带通滤波器设计 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2013, 37(5): 488-491.

The Compact Wideband Bow-Tie Antenna Based on Minkowski-Like Sided Fractal

LIU Hai-wen^{1,2}, QIN Feng², LEI Jiu-huai², WANG Yan², YANG Feng¹, PENG Su-ping¹

(1. Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. College of Information Engineering, East China of Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: A novel Minkowski sided fractal structure has been applied to design a wideband bow-tie antenna for global positioning system (GPS) application. The performances of the fractal antennas with various iterations are compared and the second iteration version of the Minkowski sided fractal antenna for GPS application is designed, fabricated and tested. The measured and simulated results are provided and the good agreement verifying the validity of this design method. The proposed 2th Minkowski sided fractal antenna provides an area reduction of 28.7% as compared with the reference bow-tie antenna with same resonance frequency. That is to say, the space-filling property of fractal geometry can be utilized to increase the effective electrical length for miniaturization. Meanwhile, it does not degrade the performance of the antenna.

Key words: bow-tie antenna; Minkowski sided fractal; wideband; miniaturization

(责任编辑: 冉小晓)