

通信技术

Koch 分形在圆极化微带天线中的应用

林 澜^{1,2} 王宇碟² 张雪莹² 刘圣英² 王进祥³

(哈尔滨工业大学电子科学与技术博士后科研流动站¹, 哈尔滨 150080; 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院², 哈尔滨 150080;
哈尔滨工业大学微电子科学与技术系³, 哈尔滨 150080)

摘要 将分形应用于微带天线设计中, 方形微带贴片边界为 Koch 分形曲线形式, 同时用探针在贴片对角线上的适当位置馈电, 从而实现微带天线的圆极化特性。采用电磁仿真软件 CST Microwave Studio[®] 对天线进行了设计, 得到了可以工作于 GPS 系统 1 228 MHz 频段的一次和二次分形的圆极化微带天线结构参数。根据设计结果制作了天线样机, 并在微波暗室内进行测试, 结果表明一次分形和二次分形天线均谐振于 1 228 MHz, 相对阻抗带宽、轴比及增益分别为 1.5% 和 1.4%、2.5 dB 和 1.4 dB、2.7 dB 和 2.4 dB。二次分形天线与一次分形天线相比, 轴比特性有明显改善。

关键词 Koch 分形 圆极化 微带天线 探针馈电

中图法分类号 TN82; **文献标志码** A

无线通信作为信息社会的重要技术手段正发挥着越来越重要的作用, 信道容量的扩充, 传输速率的提高, 运行体制的兼容等业务需求促使通信系统对天线技术的发展提出了诸多要求, 由此产生了以下天线设计技术: (1) 天线小型化技术; (2) 多频天线技术; (3) 宽带天线技术; (4) 圆极化天线技术。其中天线的小型化源于通信设备的小型化, 对它的描述主要表现在尺寸缩减方面; 而多频天线是可以同时工作于若干个频段的天线, 在这些频段内天线需要有相似的电特性, 因此可以替代多个单频工作的天线; 超宽带天线覆盖了极宽的频率范围, 可以传输时域信号, 也可以替代多个天线, 这点与多频天线类似; 圆极化天线能够发射或者接收圆极化的电磁波, 可以接收不同方向的线极化波, 可以替代两个正交的线极化天线。因此, 天线小型化的含义是十分广泛的, 它不仅指尺寸的缩减, 当多个天线可被一个天线所替代时, 也可以认为是实现了天线的小型化。

2010 年 8 月 12 日收到

黑龙江省博士后经费

(BH-Z09187) 项目资助

第一作者简介: 林 澜(1979—), 辽宁省丹东市人, 讲师, 博士, 研究方向: 天线技术。

在移动通信和卫星通信中, 为了抑制雨雾等的干扰和多径效应, 体积小、重量轻以及低剖面的圆极化微带天线获得了广泛的应用。微带天线实现圆极化的条件是, 通过馈电激励起两个极化方向正交的、幅度相等的、相位相差 90° 的线极化波, 研究者基于此提出了许多实现方案, 主要包括单馈点法^[1,2]、多馈点法^[3,4] 和多元法^[5]。其中单馈点法一般是通过引入几何微扰, 产生两个正交极化的简并模实现圆极化工作, 由于其无需外加移相器及功率分配器, 所以结构简单, 易于小型化, 所以较为常用。现有的引入微扰的手段中, 实现微带天线圆极化的方法和小型化的方法往往是相互独立的, 如切角, 其本身只能产生微扰, 而不能实现天线的尺寸缩减。

文中设计了一种应用了 Koch 分形技术的圆极化微带天线, 通过将传统的矩形微带贴片的直线边界设计成为具有弯曲的 Koch 分形曲线边界, 从而引入适当的微扰实现圆极化, 同时弯曲的贴片边界又使表面电流弯曲流动, 从而在有限的空间内实现的更低频率的谐振, 获得了天线小型化的效果。通过软件 CST Microwave Studio[®] 仿真与实验研究的方法, 设计了两种小型圆极化的微带天线, 工作频带为 1 228 MHz, 可用于 GPS 系统中。

1 Koch 分形技术

分形是非线性科学研究中的一个分支,其研究对象是自然界非线性科学中的不光滑和不规则的几何体。分形技术的理论基础最早由美籍法国人B. B. Mandelbrot于1973年提出,主要的创新是分数维和分形几何。其中Koch分形曲线是一种常见的分形曲线,如图1所示,它的特点是:①各次分形曲线的各段首尾相连,整个曲线只有两个端点,曲线在这两个端点的一侧;②图1中的 $\theta_1 = \theta_2 = 60^\circ$ 时,各次分形曲线的长度均为上一次的 $4/3$ 倍,作为一个二次分形的特例,当 $\theta_1 \neq \theta_2$ 时,二次分形Koch曲线的总长度为

$$l_2 = l \left(\frac{2\cos\theta_1 + 1}{3\cos\theta_1} \right) \left(\frac{2\cos\theta_2 + 1}{3\cos\theta_2} \right) \quad (1)$$

③分形次数趋于无穷大时,曲线的长度也趋于无穷大,但是所占的空间区域为有限值。当线天线或者微带贴片天线的边界制作成Koch分形曲线的形状时,可以在保持天线主极化方向尺寸不变的情况下提高振子或边界的有效长度,从而降低天线的谐振频率,从另一个角度说,在相同的谐振频率下,这种结构的分形天线将具有较小的极化方向尺寸,从而实现天线的小型化。目前,Koch分形小型化天线的应用主要有:Koch分形线天线,包括分形八木天线和对数周期天线^[6,7],分形环^[8],Koch分形微带贴片天线^[9]以及Koch分形槽缝天线^[10]等。

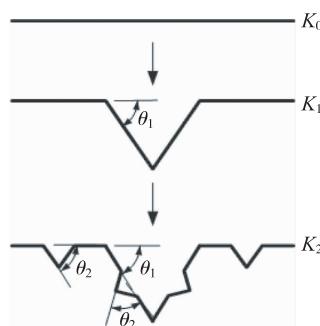


图1 Koch分形曲线

2 Koch分形贴片天线的设计

2.1 天线结构

由图1中给出的Koch分形曲线可以构成如图2所示的Koch分形微带贴片天线,微带天线的结构参数包括:贴片尺寸W和L、馈电位置坐标(x,y)、介质基片的相对介电常数 ϵ_r 、基片尺寸 W_g 和 L_g ,以及地板的大小。

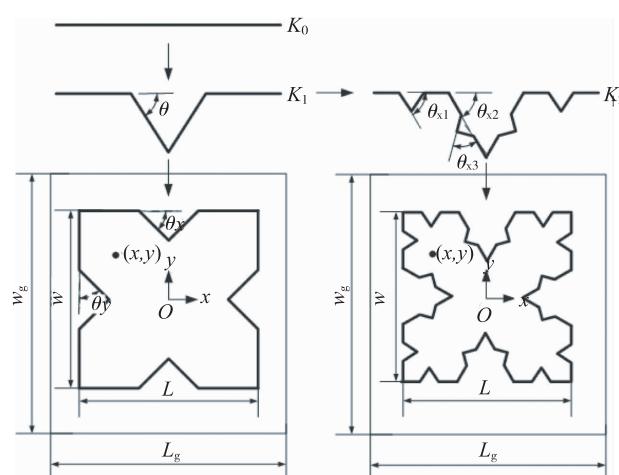
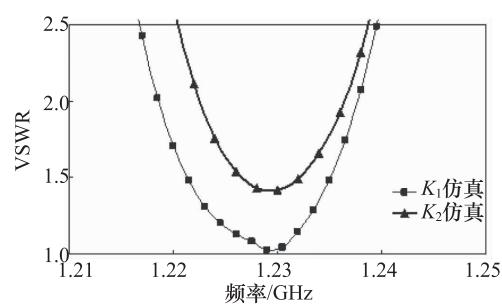


图2 一次和二次Koch分形贴片天线



(a) VSWR的仿真结果

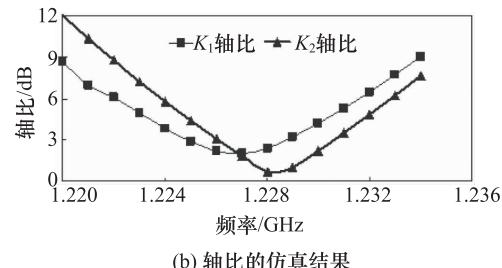


图3 一次和二次Koch分形贴片天线的仿真结果

2.2 天线仿真分析结果

在电磁仿真软件 CST Microwave Studio® 中建立天线模型, 进行仿真分析, 设计了两种天线进行比较, 分别是一次 Koch 分形和二次 Koch 分形微带贴片天线, 参数设置如下: 介质基片的尺寸均为 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, 相对介电常数 $\epsilon_r = 4.4$, 介质的损耗正切 $\tan\delta = 0$, 微带贴片尺寸均为 $55.5 \text{ mm} \times 55.5 \text{ mm}$, 馈电位置的坐标为 $(x, y) = (-5.5 \text{ mm}, 5.5 \text{ mm})$, $\theta_{x1} = 44.5^\circ$, $\theta_{x2} = 28.7^\circ$, $\theta_{x3} = 59.7^\circ$, $\theta_{y1} = 33.3^\circ$, $\theta_{y2} = 25.17^\circ$, $\theta_{y3} = 61.4^\circ$ 。天线的仿真结果如图 3 所示。

天线的仿真结果如下：

①一次和二分形贴片天线均谐振于1 228 MHz(图3(a)),可以得出贴片边长与通带的中心频率对应波导波长的关系式

$$\frac{L}{\lambda_s} = 0.47 \quad (2)$$

式(2)中 L 为 Koch 分形贴片的边长, λ_g 为通频带中心频率对应波导波长 $\lambda_g = \frac{c}{f / \epsilon_r}$, 由此式即可调整天线的工作频点, 这与普通微带贴片天线类似。分形次数对式(2)的取值影响不大, 这与分形时 θ 的取值有关, 因为 θ 所取的值较低, 经计算可知边长的增加为 48.8%, 由于互耦的影响, 所以不会有明显的尺寸缩减效果。

②引入 Koch 分形边界产生的微扰和对角线探针馈电使得 Koch 分形边界的微带贴片天线为圆极化天线(图 3(b)),二次 Koch 分形边界的微带贴片天线与一次分形天线相比,由于引入的微扰量参数较多,通过适当调整轴比特性会得到改善。

2.3 天线的实验结果

根据仿真所得到的数据制作了一次和二次分形天线,介质基片为 FR4 材料,天线实物如图 4 所示。采用 Agilent E8363B 型矢量网络分析仪在微波暗室内对天线进行了测试,图 5 和表 1 给出了天线的测试结果,从图 5 中的实验结果可以看出,一次分形天线在(1 218—1 237) MHz 频率范围内的 VSWR 小于 2,相对阻抗带宽为 1.5%;二次分形天线的工作频带为(1 220—1 237) MHz,相对阻抗带宽为

1.4%，略低于一次分形天线。轴比的测试结果显示二次分形天线的轴比特性有 1.1 dB 的改善，说明引入的微扰起到了作用。增益和仿真结果相比有所降低，这是由于介质板的损耗引起的。

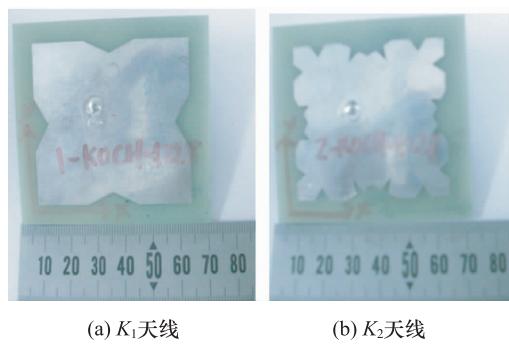


图 4 天线实物图

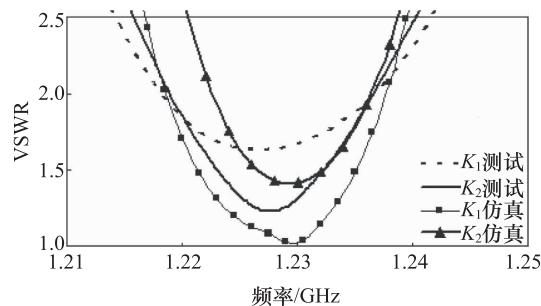


图 5 一次和二次分形天线的 VSWR 测试结果

表 1 一次和二次分形天线的轴比和增益测试结果

	频率/MHz	1 228
仿真结果	增益/dB	4.9
	轴比/dB	2.4
	增益/dB	5.0
	轴比/dB	0.7
测试结果	增益/dB	2.7
	轴比/dB	2.5
	增益/dB	2.4
	轴比/dB	1.4

3 结论

通过将 Koch 分形引入到微带天线的设计中，设

计了一种新型的圆极化微带贴片天线,通过提高贴片边界的 Koch 分形次数,可以引入较多的微扰量参数,与在贴片对角线上用探针底馈的方式相结合,可以有效改善天线的轴比。分别制作了一次和二次 Koch 分形贴片边界的圆极化微带天线,均工作于 1 228 MHz,且具有良好的轴向圆极化辐射特性,可用于 GPS 系统中。

参 考 文 献

- 1 邵晓亮,赵丽娟,邹永庆.一种新型单馈点宽带圆极化微带天线的设计.雷达与对抗,2009;(3):44—46
- 2 李 嘉,钱祖平.一种单馈双频双圆极化微带天线.2009 年全国天线年会论文集(上册).成都:电子工业出版社,2009;120—124
- 3 Massie G, Caillet M, Clénet M, et al. A new wideband circularly polarized hybrid dielectric resonator antenna. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010; 9: 347—350
- 4 Lin Chen, Zhang Fushun, Jiao Yongchang, et al. A three-fed microstrip antenna for wideband circular polarization. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010; 9: 359—362
- 5 王玉峰,何 帅,朱永建,等.一种 CPW 馈电圆形缝隙宽带圆极化天线.通信对抗,2008;(4):39—41
- 6 顾 硕,林 澜,邱景辉.分形八木天线的实验研究.哈尔滨理工大学学报,2006;11(4):75—77
- 7 Anagnostou D E, Papapolymerou J, Tentzeris M M, et al. A printed log-periodic koch-dipole array (LPKDA). IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008; 7: 456—460
- 8 Patnam R H. Broadband CPW-Fed planar Koch fractal loop antenna. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008; 7: 429—431
- 9 Rao P N, Sarma N V S N. Fractal boundary circularly polarized single feed microstrip antenna. Electronics Letters, 2008; 44(12): 713—714
- 10 Das Krishna D, Gopikrishna M, Anandan C K, et al. CPW-Fed Koch fractal slot antenna for WLAN/WiMAX applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008; 7: 389—392

Apply the Koch Fractal to the Circularly Polarized Microstrip Antenna

LIN Shu^{1,2}, WANG Yu-die², ZHANG Xue-ying², LIU Sheng-ying², WANG Jin-xiang³

(Electronic Science and Technology Post-doctoral Research Center, Harbin Institute of Technology¹, Harbin 150080, P. R. China;

School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology², Harbin 150080, P. R. China;

Department of Microelectronics Science and Technology, Harbin Institute of Technology³, Harbin 150080, P. R. China)

[Abstract] Apply the fractal method to the design of the microstrip antenna. These kinds of square microstrip patches have Koch fractal boundary structures whilst probe feed on the diagonal line properly, thereby achieving the circularly polarized character. The antennas were designed on the software CST Microwave Studio®, then they obtained the circularly polarized microstrip antenna structural parameters of once and quadratic fractal which made them working in the GPS system at 1 228 MHz frequency band. According to this simulating, the prototypes were made and tested in the anechoic chamber. And the result illustrated the data of the impedance bandwidth, the axial ratio and the gain of once and quadratic fractal antennas (syntonying at 1 228 MHz), respectively. Specifically, they were 1.5% and 1.4%, 2.5 dB and 1.4 dB, 2.7 dB and 2.4 dB. Comparing with the once fractal antenna, the axial ratio of the quadratic fractal antenna is obviously better.

[Key words] Koch fractal circular-polarization microstrip antennas probe feed