

紧凑型非对称裂缝圆极化 GPS 天线及其阵列的研究

杨程 肖绍球 高子阳 刘昌荣 唐明春 王秉中

(电子科技大学应用物理研究所, 成都 610054)

xiaoshaoqiu@uestc.edu.cn

摘要: 本文提出了一种新型紧凑非对称裂缝圆极化 GPS 天线。仿真结果表明: 该天线工作在 1575MHz, 对应的整体尺寸: $0.255\lambda_0 \times 0.255\lambda_0 \times 0.008\lambda_0$, λ_0 对应空气中的波长; 同时, 该天线还具有很好的宽角圆极化辐射特性, 其 3dB 轴比波束宽度在 $\Theta=0^\circ$ 和 90° 两平面均大于 110° 。在此基础上设计一个 1×4 单元直线阵, 实现了在 $\pm 42^\circ$ 范围内一维扫描。

关键词: GPS, 圆极化, 非对称裂缝

Research on Compact Asymmetric-Slit Circular Polarized GPS Antenna and Its Array

Cheng Yang, Shao-Qiu Xiao, Zi-Yang Gao, Chang-Rong Liu, Ming-Chun Tang, Bing-Zhong Wang

(The Institute of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054)

Abstract: This paper presents a novel and compact asymmetric-slit circular polarized GPS antenna. The simulation result indicates that the antenna has a center working frequency of 1575MHz with an overall size of $0.255\lambda_0 \times 0.255\lambda_0 \times 0.008\lambda_0$, where λ_0 is the corresponding wavelength in free space. Additionally, this antenna possesses good circular polarization, as its 3dB axial ratio beam width is bigger than 110° with θ at 0 and 90° respectively. Based on this, a 1×4 element linear array is designed, and $\pm 42^\circ$ single dimension scanning is achieved.

Keywords: GPS; Circular polarization; Asymmetric-slit

1 引言

近年来, GPS (Global Positioning System) 无论是军事还是民用都受到越来越多的关注。GPS 天线作为其收发系统前端, 其性能好坏直接影响到 GPS 导航系统的性能。GPS 天线通常采用右旋圆极化的工作方式。采用圆极化的优势在于使传输数据不依赖于收发组件放置的方向。

目前, 手持设备越来越小, 要求 GPS 天线必须采用内置式且越小越好。因此研究紧凑圆极化天线成为一个重要课题。微带天线由于体积小、重量

轻、易集成等优点, GPS 天线常采用微带作为其辐射形式。圆极化微带天线通常采用单馈电或双馈电结构。双馈电结构^[1, 2]相对于单馈电结构^[3-8], 能提供较宽的圆极化带宽, 但需要更大的地平面尺寸用于馈电网络。微扰法是产生单馈电圆极化的基本方法, 其基本思想是在天线结构的适当位置去角、开槽或加枝节等引入微扰, 从而激励起两种相互正交的模式实现单馈电圆极化。通常情况是在辐射贴片对称地去角、开槽或加枝节来实现圆极化。然而研究非对称裂缝^[9, 10]圆极化 GPS 天线的相关文献并不多见。

本文巧妙地在正方形辐射贴片的对角线上开四个非对称裂缝得到圆极化, 再在四个边的中心处开四个正交裂缝, 成功设计了一种工作在 L_1 频段

基金项目: 总装预研基金: No. 09DZ0204, No. 10DZ0211

(对应的频率范围 1574.42MHz–1576.42MHz) 紧凑型非对称裂缝圆极化 GPS 天线。通过该天线进一步组成 1×4 单元直线阵, 可实现在 $\pm 42^\circ$ 范围内一维扫描。

2 天线的设计

本文提出了一种非对称裂缝圆极化 GPS 天线结构如图 1 (a) 所示: 该 GPS 天线采用 RO4003C 介质 (厚度 $H=1.524\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3.55$, 损耗角正切 $\tan\sigma=0.0027$)。正方形辐射贴片边长为 L 位于介质基板正上方。介质的正下方为地。同轴馈电位置 F 位于 x 轴 ($x_0=3.3\text{mm}$), 得到好的阻抗匹配。图 1 (b) 所示: 在正方形辐射贴片的对角线上开四个非对称 V 形裂缝, 裂缝宽为 W , 其尖端相对于正方形贴片中心的位置为 (S_i, S_i) , $i=1$ 到 4, 调整 V 形裂缝沿对角线所处位置可得到圆极化。为了得到紧凑圆极化 GPS 天线, 再在正方形四个边的中心处开四个正交裂缝。固定裂缝宽 $S_w=1\text{mm}$, 通过调整裂缝长 S_l 可实现工作在 GPS 的工作频段内。

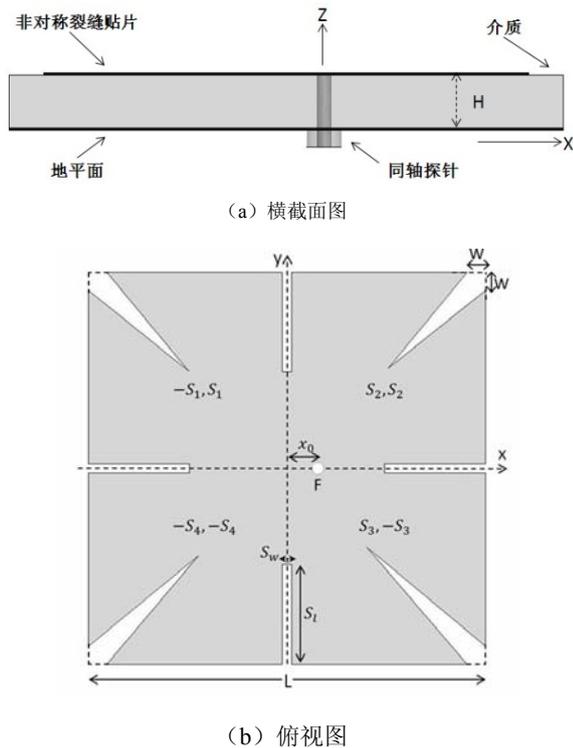


图 1 GPS 天线结构示意图

3 仿真结果及分析

本设计使用 ANSOFT 公司的 HFSS 对天线进行仿真和优化, 最终确定了比较理想的天线结构: 正方形辐射贴片边长 $L=42.5\text{mm}$, 地平面和介质尺寸为: $48.6\text{mm} \times 48.6\text{mm}$ 。正方形贴片四个角落开 V 形裂缝, 裂缝宽 $W=2\text{mm}$, V 形裂缝的尖端坐标分别为: $(-11\text{mm}, 11\text{mm})$ 、 $(10.6\text{mm}, 10.6\text{mm})$ 、 $(8.5\text{mm}, -8.5\text{mm})$ 、 $(-9.45\text{mm}, -9.45\text{mm})$ 可实现圆极化。为了实现紧凑型圆极化 GPS 天线, 进一步在正方形四个边的中心处开四个正交裂缝, 裂缝宽 $S_w=1\text{mm}$, 裂缝长 $S_l=10.8\text{mm}$, 重新调整 V 形裂缝的尖端坐标位置, 分别为: $(-10.5\text{mm}, 10.5\text{mm})$ 、 $(10.8\text{mm}, 10.8\text{mm})$ 、 $(8.5\text{mm}, -8.5\text{mm})$ 、 $(-9.45\text{mm}, -9.45\text{mm})$ 实现本文提出的紧凑型非对称裂缝圆极化 GPS 天线。该天线未加载正交裂缝和加载正交裂缝的反射系数仿真结果如图 2 所示:

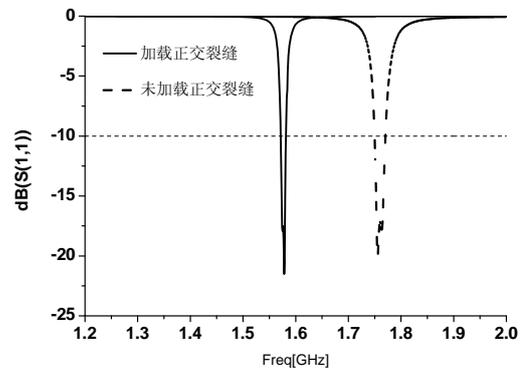


图 2 仿真的反射系数特性

从图 2 中得出该天线未加载正交裂缝工作在 1760MHz , 加载正交裂缝后谐振频率在 1575MHz , 比未加载正交裂缝频率低 185MHz , 大大减小了天线尺寸, -10dB 阻抗带宽: $1572\text{MHz} - 1581\text{MHz}$ (9MHz)。

虽然加载正交裂缝可实现减小尺寸, 但是仍然能获得较好圆极化天线。图 3 给出了加载正交裂缝后天线仿真的轴比随频率变化曲线。从图中可以看出该天线的最低轴比为 0.9dB , 工作在 1576MHz 。 3dB 轴比带宽: $1574.5\text{MHz} - 1577\text{MHz}$ (2.5MHz), 满足 GPS 带宽要求。

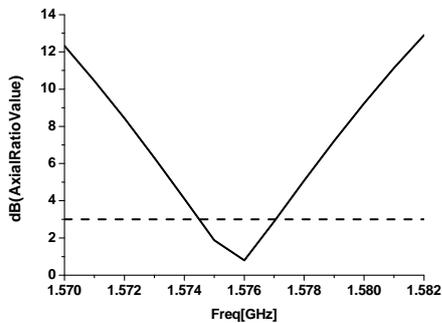
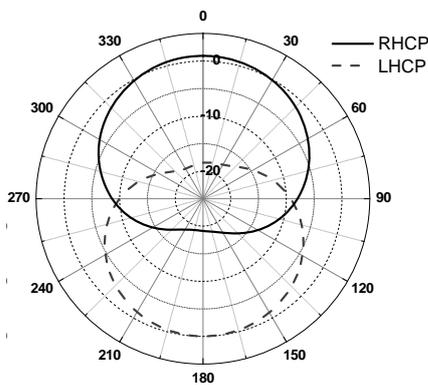
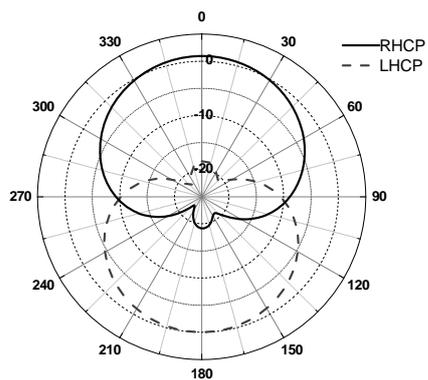


图3 仿真的轴比随频率变化曲线



(a) $\Phi=0^\circ$



(b) $\Phi=90^\circ$

图4 天线仿真方向图

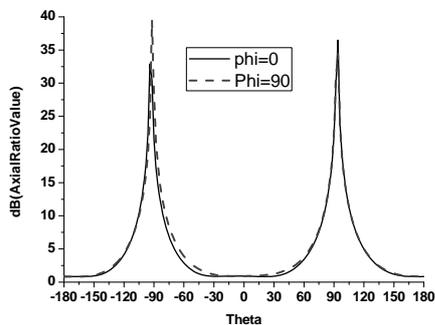


图5 天线仿真轴比随 Theta 变化曲线

图4给出了天线工作在1575MHz时， $\Phi=0^\circ$ 和 $\Phi=90^\circ$ 两平面的仿真方向图。从图中可以得出天线的峰值增益为0.92dB，最大辐射在正Z轴。

图5给出了天线工作在1575MHz时， $\Phi=0^\circ$ 和 $\Phi=90^\circ$ 两个平面轴比随Theta变化曲线。从图中可以看出， $\Phi=0^\circ$ 和 $\Phi=90^\circ$ 时3dB轴比波束宽度均大于 110° 。这样宽的波束可以在更大的空间范围内接收信号。

4 阵列的设计

采用设计出来的宽角度圆极化贴片天线单元，我们设计了 1×4 单元的直线阵，并研究了其阵列辐射特性。天线阵列的示意图如图6所示。天线均采用同轴线背馈方式馈电。阵列天线的地面大小为 $340\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，贴片单元之间的中心间距为95mm，大约为天线谐振频率对应空气中的半个波长。仍采用Ansoft HFSS对天线阵进行仿真。为了得到宽角度和低副瓣的天线阵，阵列单元馈电的幅度比从左到右为0.2:1:1:0.2。天线阵的圆极化谐振频率仍为 $f_0=1575\text{MHz}$ ，阵列边上单元天线的反射系数仿真曲线如图7所示，在工作频率处的 S_{11} 约为-15dB。

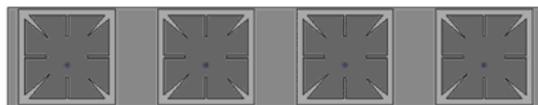


图6 阵列天线的结构示意图

图8给出了阵列的部分扫描特性曲线。从图8可以看出，该直线阵工作在 $f=1575\text{MHz}$ 时，最大波束能够扫描到 $+42^\circ$ 。

由于天线结构的对称性，这样一个 1×4 单元直线阵列就能实现从 -42° 到 $+42^\circ$ 范围内的一维圆极化波束扫描，其圆极化波束扫描范围比较大，波束最大扫描角度时的副瓣电平相对于主瓣低6dB以上，表明了具有良好的副瓣电平特性。阵列在工作频率处的扫描特性相关数据列于表1。

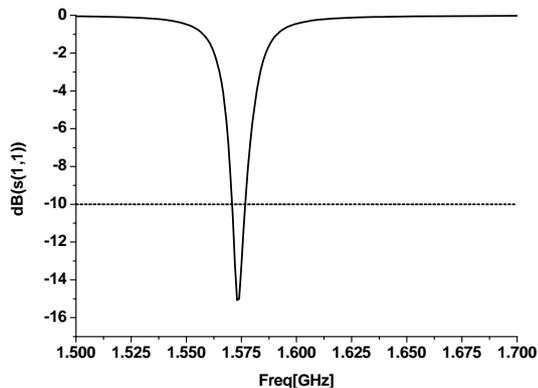


图7 天线阵单元的反射系数曲线

表1 阵列天线工作于1575MHz的一维扫描特性

Main beam direction θ_0	Main beam axial ratio (dB)	Gain (dBi)
0°	2.98	6.84
20°	2.82	6.1
42°	2.64	4.37

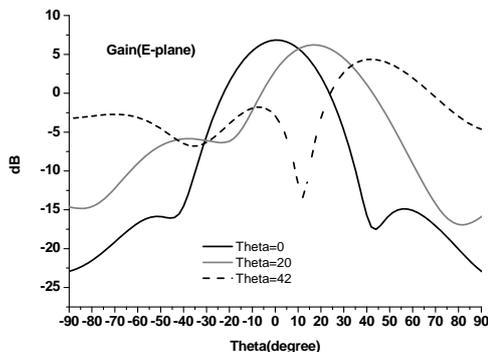


图8 1×4单元直线阵随着Theta变化的一维扫描方向图

5 结论

本文设计了一种紧凑圆极化GPS天线。通过在微带贴片对角线上开四个非对称裂缝，可实现圆极化。进一步在正方形四个边中心处开四个正交裂缝，得到本文设计的紧凑非对称裂缝圆极化GPS天线。对其一维直线阵进行研究，仿真结果表明该线阵能实现±42°范围内一维扫描。

参考文献

- [1] S. D. Targonski and D. M. Pozar, Design of wideband circularly polarized aperture-coupled microstrip antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1993, 41 (2): 214–219.
- [2] D. M. Pozar and S. M. Duffy, A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positing satellite [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45 (11): 1618 – 1624.
- [3] P. C. Sharma and K. C. Gupta, Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1983, 29 (6) : 949 - 955.
- [4] H. Iwasaki, A circularly polarized small size microstrip antennas with cross slot [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1996, 44 (10) : 1399–1401
- [5] K. L. Wong and Y. F. Lin, Circularly polarized microstrip antenna with a tuning stub [J]. Electronic Letters, 1998, 34 (9) : 831–832.
- [6] H. M. Chen and K. L. Wong, On the circular polarization operation of annular-ring microstrip antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47 (8) : 1289–1292.
- [7] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, Novel compact circularly polarized square microstrip antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 49 (3) : 340 – 342.
- [8] J. S. Row and C. Y. Ai, Compact design of single-feed circularly polarized microstrip antenna [J], Electronics Letters, 2004, 40 (18) : 1093–1094
- [9] Nasimuddin, Zhi Ning Cheng and Xianming Qing, Asymmetric-circular shaped slotted microstrip antennas for circular polarization and RFID applications[J]. IEEE Transactions On Antennas and Propagation, 2010, 58 (12): 3821 - 3828
- [10] Nasimuddin, Xianming Qing and Zhi Ning Chen, Compact asymmetric-slit microstrip antennas for circular polarization [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59 (1) 258-288.

作者简介:

杨程, 男, 硕士生, 主要研究领域为电小天线的设计等; 肖绍球, 男, 教授、博士生导师, 主要研究领域为天线与电波传播等; 高子阳, 男, 硕士生, 主要研究领域为微波毫米波电路及天线设计等; 刘昌荣, 男, 硕士生, 主要研究领域为基于LTCC技术的毫米波天线设计等; 唐明春, 博士研究生, 主要研究领域为特异材料结构机制及其在无线系统中的应用研究; 王秉中, 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算电磁学等。