

文章编号: 0465-7942(2016)05-0035-05

一种基于缺陷地结构的3频天线设计

潘勇^{1,2}, 赵二刚², 马永涛³, 高艺², 熊江¹, 曾悦¹

(1. 重庆三峡学院 计算机科学与工程学院, 重庆 404100; 2. 南开大学 电子信息与光学工程学院, 天津 300071;
3. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 提出了1种新的小型化3频单极子微带天线,该微带天线主要由1个横矩形带、2个竖矩形带、2个圆、1个圆环、1个椭圆以及缺陷地组成,可同时工作在蓝牙、射频识别、无线局域网和全球微波无线互联网的通信频段上.为了获得结构的小型化,通过沿微带方向增加1个圆环和1个椭圆来激发出该天线的2个谐振频率,通过改进地板为带圆形和矩形缺陷的拱结构来获得第3个阻抗匹配良好的频段.实测结果显示:该天线在工作频段具有很好的辐射特性和增益.

关键词: 小型化; 3频段; 蓝牙/射频识别/无线局域网/全球微波无线互联网; 缺陷地

中图分类号: TN823

献标志码: A

0 引言

根据无线通信系统发展要求,小型化、宽频带、多频段和智能化已成为天线设计新方向.近年来出现了一些适用于不同通信技术标准的单频和双频天线,但同时适用于蓝牙(Bluetooth)、射频识别(Radio Frequency Identification Devices, RFID)、无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)和全球微波无线互联网(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)这几大主流物联网通信技术标准的多频天线设计却相对较少^[1-10].文献[3-5]提出了不同形状的,可应用于WLAN及WiMAX的天线,以上天线均具有较好的辐射特性和带宽,但天线尺寸都相对较大,且只具有两个频段.文献[6]提出了一款针对RFID应用的天线,尺寸很小,但仅具有2.45 GHz一个工作频段.文献[7-9]所提出的天线相对尺寸也较小,可应用于WLAN及WiMAX,但可用频段依然只有两个.通过引入缺陷地结构,设计了一款可同时用于蓝牙/RFID/WLAN/WiMAX的3频单极子天线.该天线提供了0.18、0.61和1.2 GHz 3个阻抗带宽,工作频段分别为2.35-2.53 GHz、3.38-3.99 GHz和4.9-6.1 GHz,中心频率分别为2.44、3.57和5.61 GHz.天线的尺寸为35.0×24.0×0.8 mm³.天线由HFSS软件进行仿真并进行了实物制作,实测结果与仿真结果具有很好的匹配.

1 天线设计与结构

天线的设计过程以及每个天线所对应的回波损耗特性如图1所示.辐射单元长度的计算方法是:先由辐射贴片带线长度与相应馈电带线长度之和,即天线有效电长度,得到辐射单元的初始长度,再由电磁仿真软件对参数进一步优化.而天线的有效电长度约等于天线谐振时对应工作波长的二分之一,其计算可以参考经验公式^[10]:

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_{\text{res}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (1)$$

收稿日期: 2014-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61401301);重庆市教委科研项目(KJ1401029);重庆三峡学院科研项目(14RC10)

作者简介: 潘勇(1981-),男,重庆万州人,副教授,研究方向:物联网通信,天线理论与设计. E-mail: zhurongji_211@163.com

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1 + \epsilon_r}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{1/2} \quad (2)$$

其中, L_{eff} 是天线有效辐射电长度, 单位: mm; f_{res} 是谐振频率, 单位: GHz; ϵ_{eff} 为有效介电常数; c 是真空中的光速; h 和 W 分别是介质板厚度和超小 A 型(SMA)接头处微带线的宽度, 单位: mm.

天线最初的设计源于天线 I, 仅包括 1 个由 1 条横矩形带, 2 条竖矩形带以及 2 个圆拼接而成的辐射贴片和 1 个矩形地板. 如图 1(a) 所示, 辐射单元通过超小 A 型接头馈电后, 电流从馈电点流入, 流经微带线、横矩形带、竖矩形带、直至辐射贴片上部左右 2 个圆的顶端, 该电流流经的路径长为 39 mm (约 0.31 λ). 如图 1(b) 所示, 此时天线工作在两个频段 2.31–2.48 GHz, 3.27–3.58 GHz, 谐振频率分别为 2.4 GHz 和 3.39 GHz. 前一个可基本覆盖蓝牙工作频段, 后一个接近 WiMAX 工作频段. 通过在横矩形辐射带上沿着微带方向增加 1 个圆环贴片和 1 个椭圆贴片得到天线 II, 而天线的面积大小没有改变. 为了获得更好的匹配特性, 通过计算及优化, 横矩形带和圆环连接的带线宽度为 0.3 mm, 圆环与椭圆连接的带线宽度为 0.6 mm, 比馈电点到横矩形带的带线要窄. 此时电流从馈电点流经微带线、圆环直至椭圆顶端, 该电流流经的路径长为 27 mm (约 0.32 λ). 天线 II 的阻抗带宽分别为 2.39–2.7 GHz, 5.27–5.53 GHz, 中心频率分别为 2.53 GHz、5.4 GHz. 前一个依然可覆盖蓝牙工作频段, 但中心频率有所偏移, 后一个右移, 接近 WLAN 的工作频段, 但回波损耗特性不好. 为了获取第 3 个工作频段, 同时改善上面获得的 2 个工作频段而引入缺陷接地结构, 该结构通过在微带线接地平面上蚀刻周期性或非周期性图形, 来改变接地电流的分布, 从而改变传输线的频率特性, 以实现抑制谐波, 增加带宽的作用. 为了获得良好的匹配, 首先在矩形地板上方采用拱形地结构, 然后在拱形的顶端向下蚀刻 1 个矩形缺陷, 缺陷长 $L_8=0.9$ mm, 缺陷宽 $W_6=6.0$ mm. 再在微带线正下方地板上蚀刻一个圆形缺陷, 缺陷半径 $R_4=1.5$ mm. 圆形和矩形缺陷的尺寸和位置在一定程度上影响了天线的谐振频率和阻抗带宽.

通过在拱形地结构的合适位置蚀刻圆形和矩形缺陷, 仿真发现天线 III 出现了第 3 个工作频段, 且具备较宽的带宽和较好的回波损耗特性, 同时另外 2 个工作频段也得到了改善. 此时电流从馈电点流经带线直至圆环底端, 该电流流经的路径长为 13 mm (约 0.24 λ). 由于缺陷地结构, 改变了此处的频率特性, 从而获得了第 3 个频段. 最终得到覆盖蓝牙、RFID、WLAN 和 WiMAX 工作频段的天线. 可见在横矩形带上引入圆环带状线和椭圆以及缺陷地结构, 在没有增加整体体积的情况下获得了性能较好的多频段天线.

图 2 是 3 频单极子微带天线的具体设计结构. 印刷在介质基板上的天线的主要辐射单元是 1 条横矩形辐射带, 2 条各自连着 1 个辐射圆的竖矩形辐射带, 1 个椭圆, 1 个圆环以及中间的矩形连接带. 天线左右 2 条竖矩形辐射带长度均为 L_2 , 与竖矩形辐射带分别相连的 2 个辐射圆的半径均为 R_3 ; 圆环的内半径和外半径分别为 R_1 和 R_2 ; 椭圆的长半轴与短半轴长度分别为 A 和 B ; 横矩形带与圆环连接带长度为 $L_3=0.5$ mm, 圆环与椭圆连接带长度 $L_4=0.5$ mm.

该天线被印制在相对介电常数 $\epsilon_r=4.4$, 介质损耗为 0.02, 厚度为 0.8 mm 的 FR4 的介质板上, 采用 50 Ω 微带线馈电, 微带线的长和宽分别是 $L_f=12$ mm、 $W_f=2.4$ mm. 介质板的尺寸为 35.0 mm×24.0 mm. 天线经过优化后, 进行了实际制作并测试. 实物图如图 3 所示. 天线的详细参数见表 1.

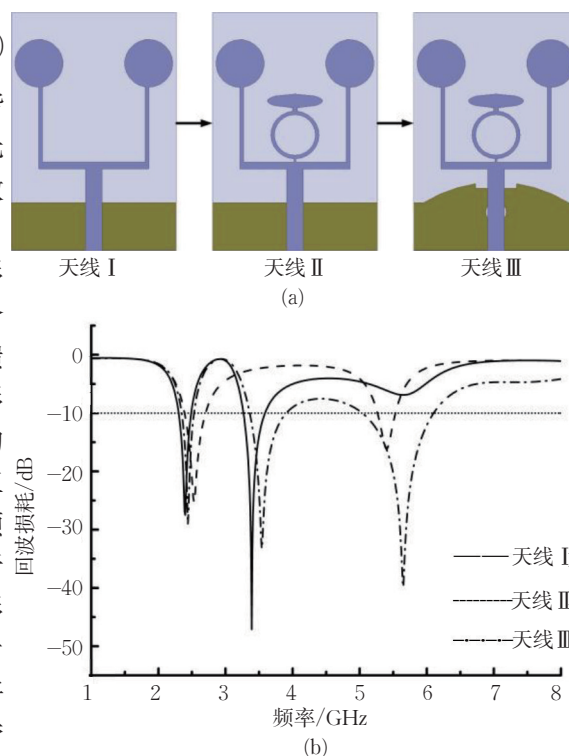


图 1 天线的设计过程及对应的回波损耗特性

Fig.1 Design evolutions of the proposed antenna and simulated returned loss results

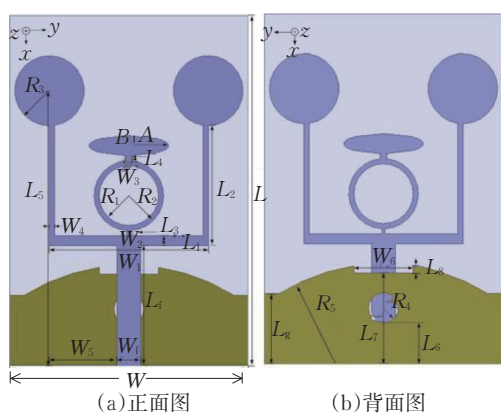


图2 天线的结构图

Fig. 2 Configuration and Geometry of the proposed antenna



图3 天线的实物图

Fig. 3 Photograph of fabricated antenna

表1 天线的详细参数

Table1 Parameters of the proposed antenna

参数	H	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}
尺寸/mm	0.8	35.0	12.0	1.0	0.5	27.5	9.1	16.0	0.6	6.8	3.0	3.5	20.0	1.0	
参数	L_{14}	L_{15}	L_{16}	L_{17}	L_{18}	L_{19}	L_{20}	L_{21}	L_{22}	L_{23}	L_{24}	L_{25}	L_{26}	L_{27}	L_{28}
尺寸/mm	7.0	24.0	2.4	11.1	0.5	4.1	0.9	0.3	0.5	6.0	3.5	1.5	4.0		

2 实验结果及分析

天线的仿真优化采用全波仿真软件HFSS 13.0,使用矢量网络分析仪在暗室中对实际制作的天线进行了测试.天线测试的实际工作相对带宽为7.37% (2.35—2.53 GHz)、17.09% (3.38—3.99 GHz)和21.4% (4.9—6.1 GHz).图4是此天线仿真与测试的回波损耗参数的对比曲线,从图上可以看到2者吻合度较高.2者的误差可能是由天线制作和实验设备测试的误差引起的.天线在谐振点处的回波损耗分别为-29.4 dB、-34.2 dB和-40.7 dB,显示天线良好的匹配特性.图5是天线在2.45 GHz、3.5 GHz和5.5 GHz时分别在E面和H面的方向图.仿真与测试结果的吻合度较高.

图6为天线在工作频带内的增益仿真与测试结果.在2.3—2.6 GHz频段,天线的增益相对稳定,增益变化为1.58 dBi,2.3 GHz时增益最大为4.01 dBi.在3.3—4.0 GHz频段,天线的增益同样相对稳定,增益变化为0.65 dBi,3.9 GHz时增益最大为3.02 dBi.与低频段相比,4.9—6.1 GHz频段天线的最大增益和增益变化都相对较大,在6.1 GHz时获得最大增益为5.38 dBi,增益变化为1.34 dBi,并且天线增益的测试与仿真结果吻合较好.天线的增益满足无线通信的要求.

3 结 论

提出了1种小型化多频段天线,可同时工作在蓝牙、RFID、WLAN和WiMAX的通信频段.该天线主要由1条横矩形带、2条竖矩形带、2个圆、1个圆环、1个椭圆以及缺陷地组成.在保证天线尺寸的情况下,通过在横矩形带上沿微带线增加圆环和椭圆来激发出天线需要2个谐振频率.通过改进地板为带圆形及

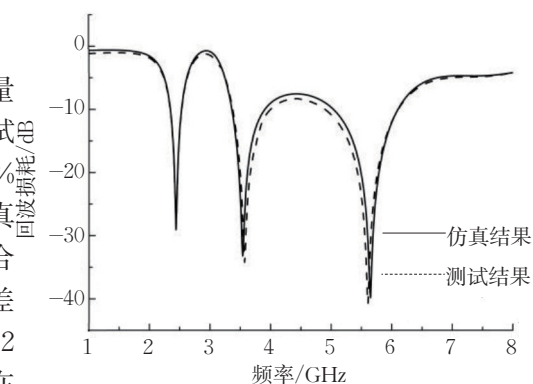


图4 仿真与测试的回波损耗

Fig.4 Simulated and measured return losses of the proposed antenna

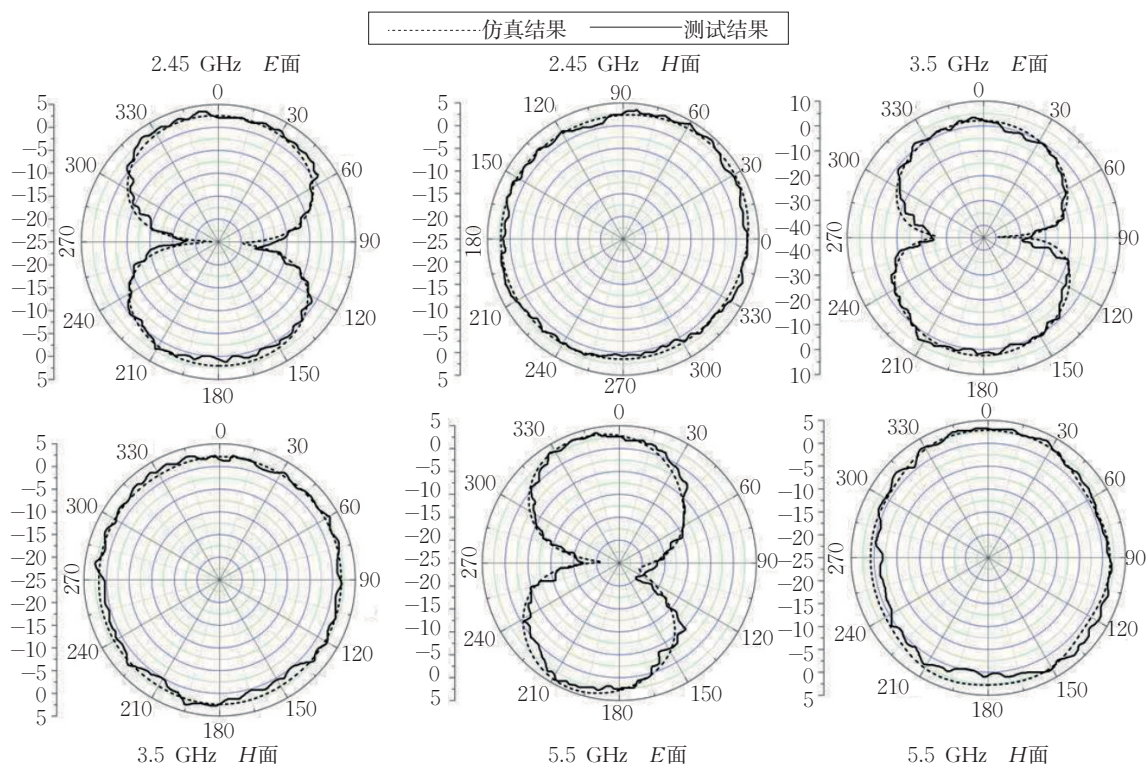


图5 天线在2.45 GHz、3.5 GHz、5.5 GHz时分别在E面、H面的方向图

Fig. 5 Simulated and measured radiation patterns at 2.45 GHz, 3.5 GHz, and 5.5 GHz in the E plane and H plane

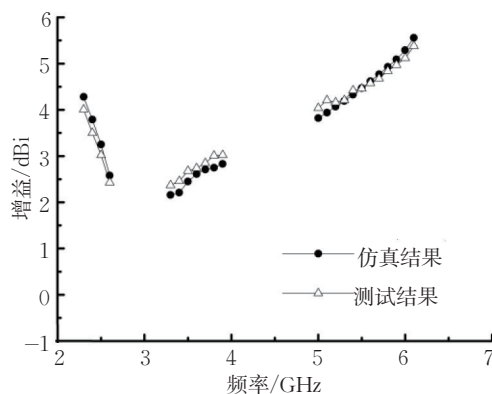


图6 天线在工作频带内的增益

Fig. 6 Simulated and measured gains of the proposed antenna

矩形缺陷的拱形结构来获得第3个阻抗匹配良好的频段.同时天线具备尺寸小、高增益、较好的辐射特性等优点,适用于当前应用的无线通信系统.

参 考 文 献

- 1 潘 勇, 刘开华, 于洁潇, 等. 基于分数阶傅里叶变换的移动读写器多射频标签定位算法[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2013, 46(5): 73-79.
- 2 Pan Yong, Liu Kaihua, Hou Ziyue. A novel printed microstrip antenna with frequency reconfigurable characteristics for Bluetooth/WLAN/WiMAX applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(6): 1 341-1 345.
- 3 Li Xin, Hu Wei, Wang Yafang, et al. Printed triple-band rectangular ring monopole antenna with symmetrical L-strips for WLAN/WiMAX applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2012, 54(4): 1 049-1 052.
- 4 杨慧春, 高攸纲, 平子良, 等. 无线局域网应用的接地平面单极天线的设计[J]. 电波科学学报, 2012, 27(6): 1 176-

- 1 179.
- 5 Li Yingsong, Li Wenxing, Raj M. A compact ACS-Fed dual-band meandered monopole antenna for WLAN and WiMAX applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(10): 2 370–2 373.
- 6 李光福, 金 杰, 刘青爽, 等. 一种新的基于左手材料的小型化RFID微带天线设计[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2013, 46(3): 89–92.
- 7 曹新宇, 张金玲, 杨虹蓁. 新型小尺寸双陷波超宽带天线设计[J]. 电波科学学报, 2014, 29(3): 548–551.
- 8 褚庆昕, 叶亮华. 用于WLAN/WiMAX的双频紧凑型天线[J]. 电波科学学报, 2010, 25(5): 893–898.
- 9 Zhou Cheng, Wang Guangming, Liang Jiangang, et al. Broadband antenna employing Simplified MTLs for WLAN/WiMAX applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13(6): 595–598.
- 10 王安国, 陈 彬, 冷 文, 等. 一种小型化5频段可重构蝶形天线的设计[J]. 电波科学学报, 2013, 28(1): 87–91.

Design of a Miniaturized Triple-frequency Monopole Microstrip Antenna

Pan Yong^{1,2}, Zhao Ergang², Ma Yongtao³, Gao Yi², Xiong Jiang¹, Zeng Yue¹

(1. School of Computer Science and Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;

2. School of Electronic Information and Optical Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China;

3. School of Electronics and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A new miniaturized triple-frequency monopole microstrip antenna is proposed. The proposed antenna mainly consists of a horizontal rectangular band, two vertical rectangular bands, two circles, a circular ring, an ellipse, and a defected ground plane. The proposed antenna can generate three separate impedance bandwidths to cover all the 2.4/5.2/5.8 GHz Bluetooth/WLAN/RFID operating bands and the 2.5/3.5/5.5 GHz WiMAX bands. By adding a circular ring and an ellipse along the microstrip direction, the antenna excites two resonant modes and is with miniaturization structure. Because of the introduction of the cambered ground plane with a circular-defect and a rectangular-defect, the third wide band with better impedance matching is obtained. A prototype is experimentally tested, and the measured results show good radiation patterns and enough gains across the operation bands.

Key words: miniaturized; triple-frequency; bluetooth/RFID/WLAN/WiMAX; defected ground plane