

# 一种小型化平面倒F天线设计

胡朝斌, 朱旗

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 安徽合肥 230027)

**摘要:**针对已有平面倒F天线的不足,在综合考虑天线及PCB板尺寸、天线在PCB板上的安装位置以及塑料机壳参数等因素对天线性能的影响后,设计了一个用于无线局域网(WLAN)无线路由器的小型化平面倒F天线.该天线面积小、馈电简单,能方便地集成在电路板上.测试结果表明,天线在2.35 GHz至2.5 GHz频带内回波损耗小于-10 dB,工作带宽满足设计要求.与传统平面倒F天线相比,所设计的天线有效展宽了波束宽度,近乎各向同性的方向图能保证360°空间内均能有效接收信号.

**关键词:**平面倒F天线;小型化;宽波束;无线局域网

**中图分类号:** TN82      **文献标识码:** A      doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2012.04.005

**引用格式:** Hu Chaobin, Zhu Qi. Design of a compact planar inverted-F antenna[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2012,42(4):289-295.

胡朝斌,朱旗.一种小型化平面倒F天线设计[J].中国科学技术大学学报,2012,42(4):289-295.

## Design of a compact planar inverted-F antenna

HU Chaobin, ZHU Qi

(Department of Electronic Engineering and Information Science, USTC, Hefei 230027, China)

**Abstract:** Considering the disadvantage of the traditional planar inverted-F antenna (PIFA), a miniaturization PIFA applied in the wireless local area network (WLAN) wireless router was proposed. The dimension of the antenna and PCB, the antenna's placement on the PCB and parameters of the plastic shell were investigated to improve the performance. Due to the small size and simple feed structure, the proposed antenna can be feasibly integrated on the PCB. The measured results show that a bandwidth between 2.35 GHz and 2.5 GHz with return loss less than -10 dB can be achieved. Meanwhile, the radiation beam width of this antenna is much wider than that of the traditional PIFA. The nearly isotropic radiation patterns guarantee the reception of signals in all directions.

**Key words:** planar inverted-F antenna (PIFA); miniaturization; broad beam; wireless local area network (WLAN)

## 0 引言

无线局域网技术(WLAN)是近年来发展最迅

速、应用最广泛的无线通信技术之一. IEEE 制定的 WLAN 802.11b/g 行业标准规定了一个免许可使用的频段(2.412~2.482 GHz),许多无线终端设备

收稿日期:2011-12-16;修回日期:2012-03-20

基金项目:国家自然科学基金(61131002)资助.

作者简介:胡朝斌,男,1987年生,硕士生.研究方向:天线设计. E-mail:hucb@mail.ustc.edu.cn

通讯作者:朱旗,教授. E-mail:zhuqi@ustc.edu.cn

在该频段进行无线数据传输。

无线路由器是目前广泛应用的无线网络接入设备。随着移动终端数量的增加和使用环境的复杂化,用户对接入设备的体积与性能提出了更高的要求。作为无线路由器的关键器件,天线大小影响到系统的集成度,其性能直接关系到信号传输的质量,因此设计小型化高性能的天线是无线通信系统研究的一个热点。

平面倒 F 天线(PIFA)作为无线路由器中应用最广的天线形式之一,文献已多有报道<sup>[1-6]</sup>。其中,文献[1-2]中介绍的平面倒 F 天线辐射贴片与接地柱不在一个平面内,利用同轴馈电使得结构较为复杂;文献[3]介绍的平面倒 F 天线则通过引入辅助地和接地墙结构,改善了天线的工作性能,但未考虑 PCB 板尺寸以及天线在 PCB 板上位置对天线工作性能的影响。

本文针对已有平面倒 F 天线的不足,提出了倒 F 天线的改进设计:①将辐射臂与接地臂设计在同一平面内,通过金属化接地通孔使天线有效接地,同时,射频信号线与天线馈电臂直接连接,无需额外的匹配电路,实现整体结构的小型化;②综合考虑 PCB 板尺寸和天线在 PCB 板上相对位置等因素对天线性能的影响,进一步展宽辐射波瓣宽度,与文献[1]中传统倒 F 天线相比, $xoz$ 面和 $yo z$ 面 3 dB 波束宽度分别由 $140^\circ$ 和 $140^\circ$ 展宽到 $210^\circ$ 和 $290^\circ$ ;③综合考虑路由器塑料机壳参数对天线性能的影响,使得最后天线工作带宽较宽,方向图符合协议规范的要求。

## 1 天线结构设计

### 1.1 天线结构

图 1 所示为平面倒 F 天线结构图。结构中 R1,

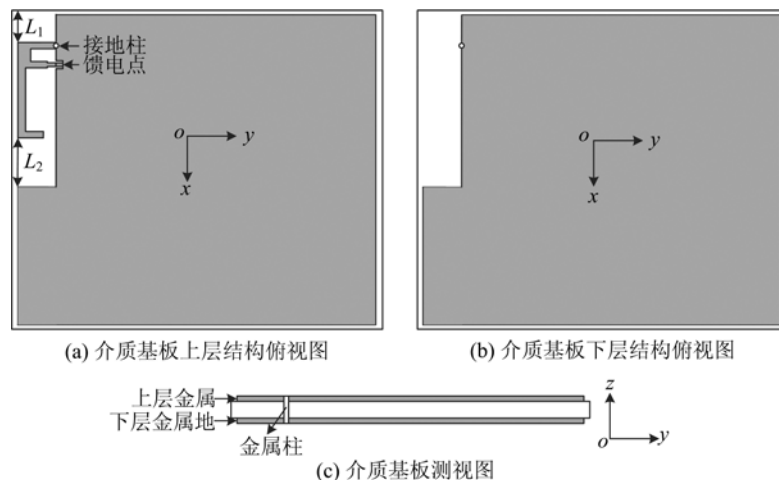


图 2 天线在 PCB 上的相对位置

Fig. 2 Location of PIFA on the PCB

R2 为主辐射臂;R4,R5 为馈电臂,其中 R5 是特性阻抗为 $50\ \Omega$ 微带线,射频前端直接通过 R5 对天线进行馈电;R3,R6 为接地臂,白色圆圈结构为接地柱,连接介质层上下表面金属层。该天线结构将辐射臂与接地臂设计在同一平面内,使得整体结构较小,并通过金属化通孔保证了天线的有效接地。

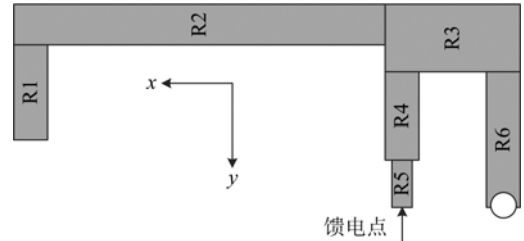


图 1 平面倒 F 天线结构图

Fig. 1 Configuration of the planar inverted-F antenna

如图 2 所示,上述天线结构设计在相对介电常数为 4.4、厚度为 1 mm 的 PCB 介质板上。PCB 介质板下层为金属地结构,其中天线所在位置正下方对应区域无金属,旨在获得 PCB 板上下两侧的辐射。

IEEE 802.11b/g 协议要求天线工作的中心频率在 2.45 GHz,工作带宽大于 100 MHz。根据谐振天线相关性质<sup>[5]</sup>,计算得到天线辐射臂长度

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2.45 \times 10^9 \sqrt{4.4}} \approx 29\ \text{mm}.$$

由于接地臂的作用,倒 F 天线辐射臂谐振长度为传统天线辐射臂长度的一半,即

$$L' = \frac{L}{2} = 14.5\ \text{mm}.$$

整个天线辐射臂由两段相互垂直的辐射臂 R1 和 R2 组成,这样既可以减小辐射臂空间所占面积,

又可以获得宽波束的方向图。

用 ANSOFT HFSS 进行参数优化,最后得到满足性能要求的各项结构参数如下:

天线总体尺寸为 18mm×4.8mm,各部分尺寸如下:  $R1_x = 0.9\text{ mm}$ ,  $R1_y = 2.5\text{ mm}$ ;  $R2_x = 14.3\text{ mm}$ ,  $R2_y = 0.9\text{ mm}$ ,  $R3_x = 4.5\text{ mm}$ ,  $R3_y = 1.6\text{ mm}$ ,  $R4_x = 0.9\text{ mm}$ ,  $R4_y = 2\text{ mm}$ ,  $R5_x = 0.5\text{ mm}$ ,  $R5_y = 1\text{ mm}$ ,  $R6_x = 1\text{ mm}$ ,  $R6_y = 3\text{ mm}$ 。

### 1.2 仿真结果

图 3 为上述天线单元的表面电流分布图,可见:  $R4, R5$  上电流集中,为馈电臂;  $R1, R2$  上电流密度大,为主辐射臂;  $R3, R6$  上电流很弱,为接地臂。



图 3 天线结构上电流分布

Fig. 3 The surface current distribution on the PIFA

图 4 为天线的 HFSS 仿真结果,在 2.4~2.5 GHz 要求的频带内  $S_{11}$  均小于 -15 dB,中心频点在 2.45 GHz. 仿真同时表明,天线在 PCB 板边缘上的位置对其回波影响很小。

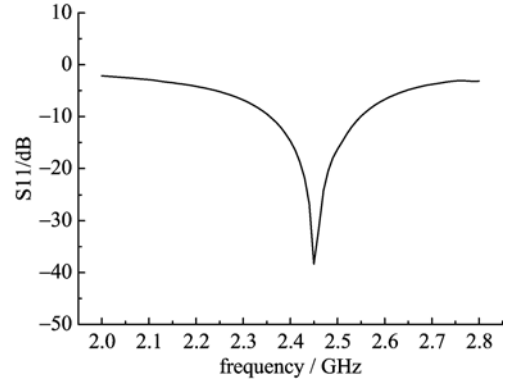


图 4 仿真回波损耗

Fig. 4 Simulated return loss

### 1.3 天线安装位置对辐射方向图的影响

为保证路由器的工作效率,必须考虑天线位置对辐射方向图的影响. 本文对天线在 PCB 板上不同位置的辐射性能做了大量分析. 图5分别给出了天

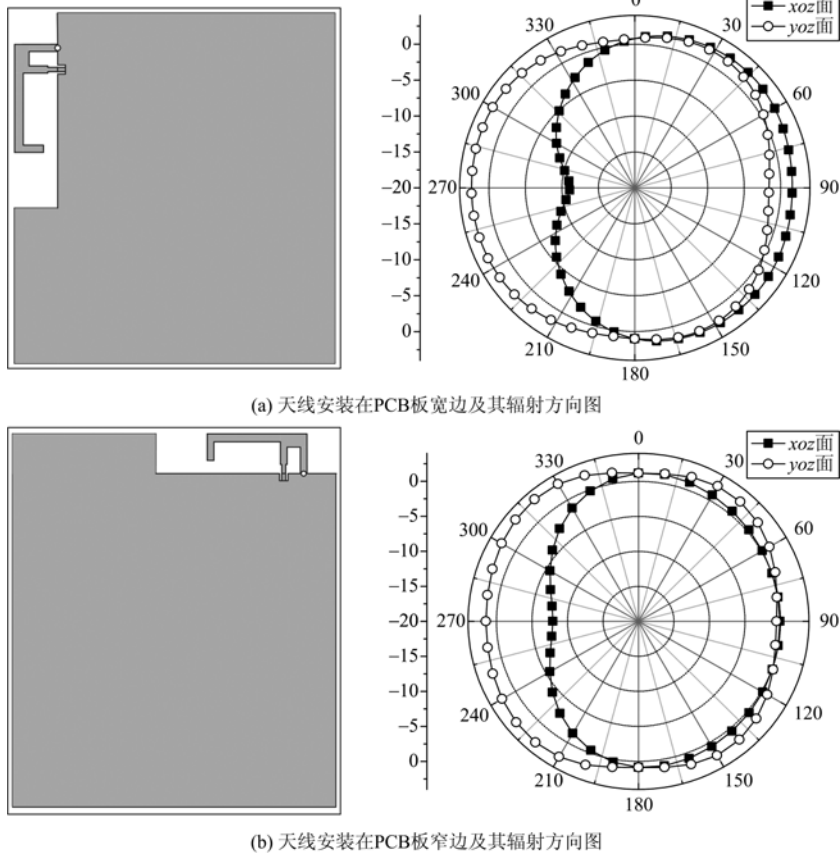
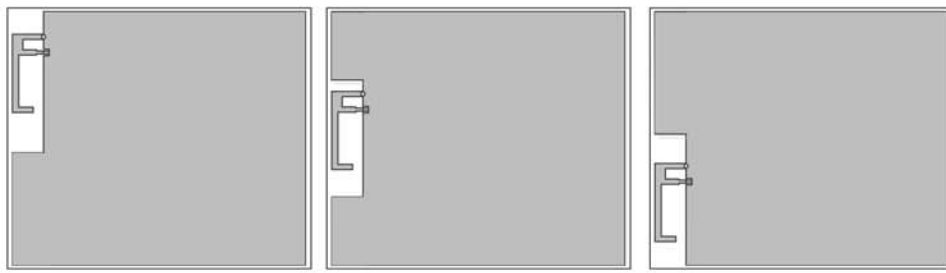
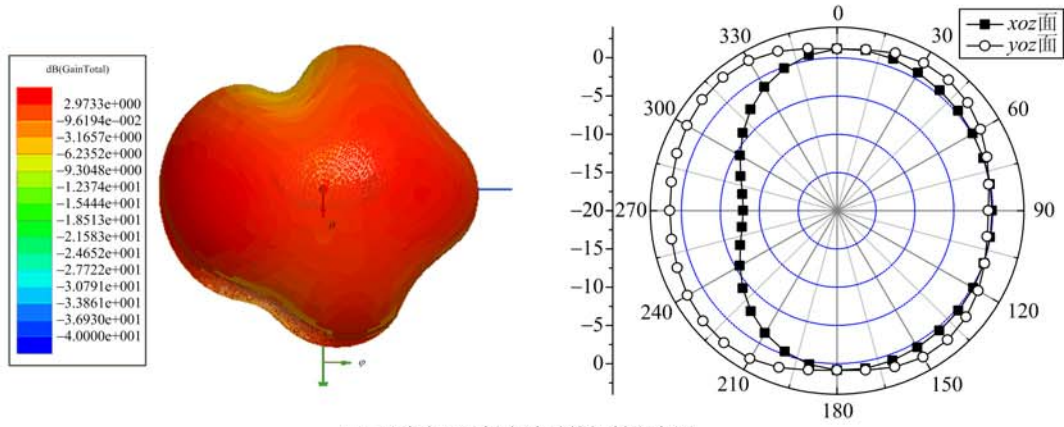


图 5 天线在 PCB 板上不同边的位置及其对应辐射方向图

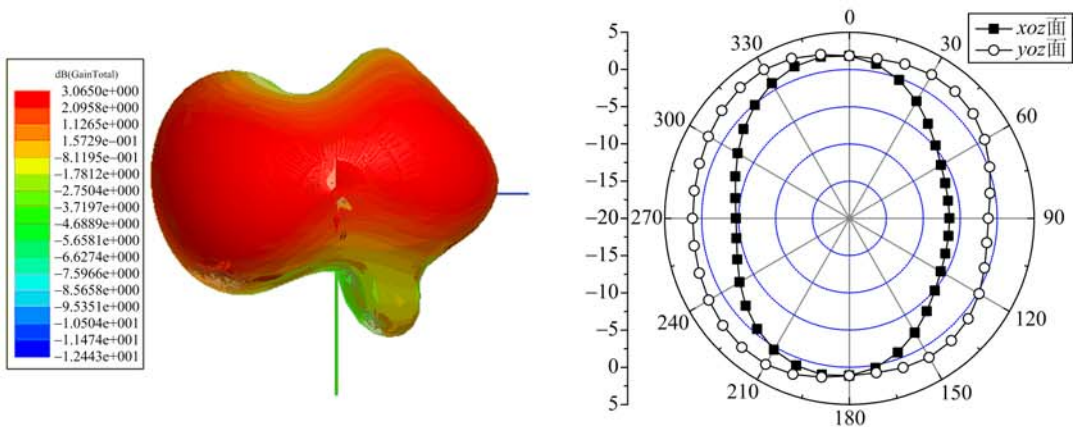
Fig. 5 Profile of the PIFA located at different sides of the PCB and the radiation patterns



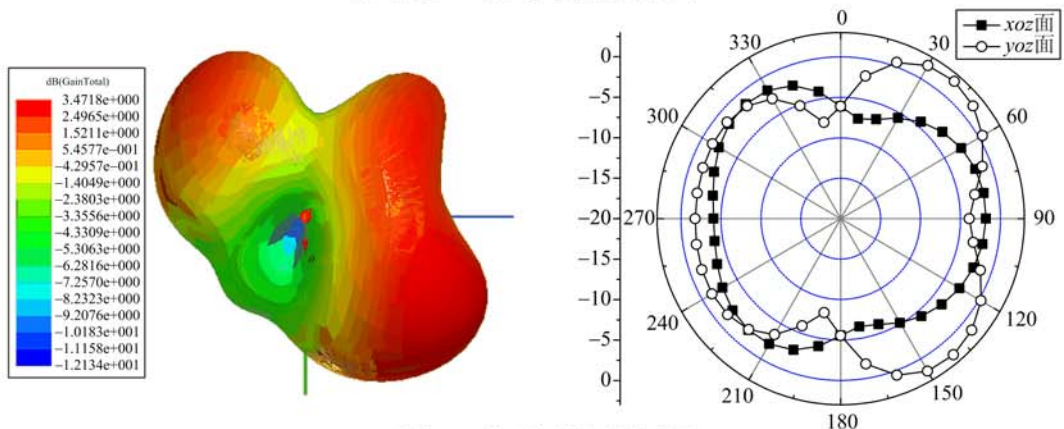
(a) 天线在PCB板窄边上不同位置时结构图



(b) 天线在PCB板上端时的辐射方向图



(c) 天线在PCB板中间时的辐射方向图



(d) 天线在PCB板下端时的辐射方向图

图 6 天线在 PCB 板上不同位置及其对应的辐射方向图

Fig. 6 Radiation patterns of PIFA located at 3 different positions on the PCB

线安装在 PCB 板宽边和窄边上时的辐射方向图. 宽边辐射方向图的  $xoz$  面和  $yo z$  面 3 dB 波束宽度分别为  $214^\circ$  和  $306^\circ$ , 窄边辐射方向图的  $xoz$  面和  $yo z$  面 3 dB 波束宽度分别为  $246^\circ$  和  $360^\circ$ .

从图 5 可以看出: ①两种情况下,  $xoz$  面方向图在  $-x$  方向, 即接地柱所在方向, 存在波束凹陷, 这是接地柱的屏蔽所致; ②窄边安装天线波束较宽, 这是由窄边方向的地面积较小所致.

图 6 分别给出了天线在窄边 3 个典型的安装位置时对应的辐射方向图. 从图中可以看出, 天线位于 PCB 板的上端、中间和下端时,  $xoz$  面和  $yo z$  面 3 dB 波束宽度依次为  $246^\circ$  和  $360^\circ$ ,  $70^\circ$  和  $310^\circ$ ,  $57^\circ$  和  $163^\circ$ . 可知当天线位于 PCB 板上端时辐射方向图波束最宽; 当天线位于中间位置时上下两端均有地的屏蔽作用, 波束被压缩; 当天线位于下端时, 接地端的地面积更大, 有更强的屏蔽作用, 导致波束变窄.

最后确定天线的安装位置如下: 整个 PCB 板尺寸为  $90\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ , 天线上下端空白尺寸  $L_1 = 6.15\text{ mm}$ ,  $L_2 = 11.85\text{ mm}$ , 如图 2 所示.

## 2 路由器塑料机壳对天线性能影响

实际应用中, 集成了天线的 PCB 板外部由路由器塑料机壳包裹, 等效于在天线外部包裹一层相对介电常数不为 1 的介质层, 这将对天线的工作频带以及辐射产生影响. 取机壳的尺寸为  $93\text{ mm} \times 103\text{ mm} \times 23\text{ mm}$ , 厚度为  $2.5\text{ mm}$ , 相对介电常数为 6.15, 结构如图 7 所示.

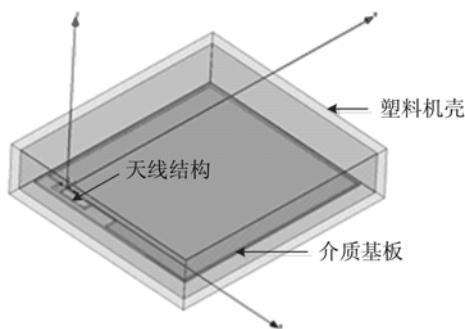


图 7 PCB 板和路由器塑料外壳结构图

Fig. 7 PCB and router plastic shell structure

### 2.1 对工作频率的影响

图 8 中曲线 1 为加载路由器塑料机壳后天线的  $S_{11}$  参数. 可以看到, 加载路由器塑料机壳后, 天线中心频点向低频移动  $110\text{ MHz}$ . 为抵消塑料机壳对工作频带的影响, 设计中将主谐振臂  $R_2$  长度由原

来的  $14.3\text{ mm}$  减小为  $13.2\text{ mm}$ . 图 8 中曲线 2 为调整后的回波损耗, 中心频点又回到了  $2.45\text{ GHz}$ , 在  $2.4 \sim 2.5\text{ GHz}$  频带内  $S_{11}$  均小于  $-15\text{ dB}$ , 满足设计要求.

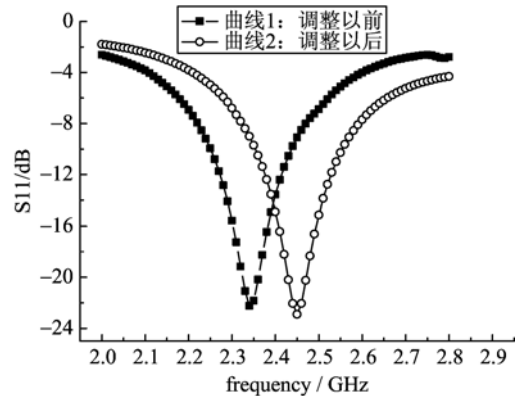


图 8 考虑机壳后仿真回波损耗

Fig. 8 Simulated return loss after considering the shell

### 2.2 对辐射性能的影响

图 9(a) 和 (b) 分别为无塑料机壳以及加载相对介电常数为 6.15 的塑料机壳时, 中心频点  $2.45\text{ GHz}$  的辐射方向图.  $xoz$  面波束凹陷点增益由  $-7.8\text{ dB}$  下降至  $-18.3\text{ dB}$ ,  $xoz$  面和  $yo z$  面 3 dB 波束宽度分别下降至  $210^\circ$  和  $290^\circ$ .

为降低塑料机壳对辐射性能的影响, 研究了低介电常数的塑料机壳对波束宽度的影响. 图 9(c) 给出了采用  $\epsilon_r = 2.2$  的塑料机壳时  $2.45\text{ GHz}$  的辐射方向图,  $xoz$  面凹陷点增益由原来的  $-18.3\text{ dB}$  增大到  $-11.3\text{ dB}$ . 另外, 增大塑料机壳的尺寸同样可展宽波束宽度. 图 9(d) 给出了机壳高度增加  $10\text{ mm}$ , 宽度和长度各增加  $20\text{ mm}$  时, 中心频点  $2.45\text{ GHz}$  辐射方向图,  $xoz$  面凹陷点增益可由原来的  $-18.3\text{ dB}$  增大到  $-11.1\text{ dB}$ .

## 3 测试结果

综合以上分析, 选取最佳的路由器机壳参数: 机壳尺寸为  $113\text{ mm} \times 123\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ , 厚度为  $2.5\text{ mm}$ , 相对介电常数为 2.2. PCB 板尺寸为  $90\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ , 天线安装在窄边上. 天线总体尺寸为  $18\text{ mm} \times 4.8\text{ mm}$ , 由于塑料机壳的作用, 其中  $R_2$  由原来的  $14.3\text{ mm}$  调整为  $14\text{ mm}$ , 其他结构参数如节 1.1 所示.

利用矢量网络分析仪测量该天线的回波损耗如图 10 所示. 天线在  $2.35 \sim 2.5\text{ GHz}$  范围内回波损

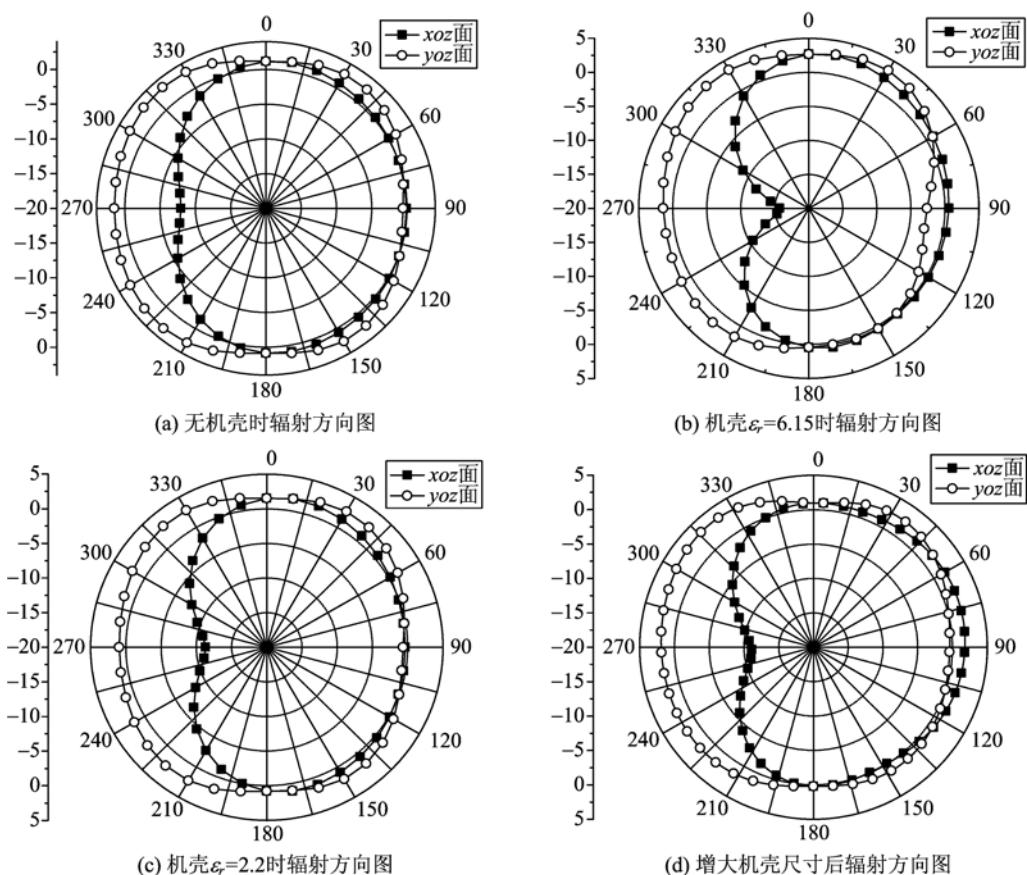


图 9 不同机壳参数对应的辐射方向图

Fig. 9 Radiation patterns with different shell parameters

耗值均小于  $-10$  dB, 实测带宽略窄于仿真结果, 但超过  $100$  MHz 的频带宽度满足设计需求.

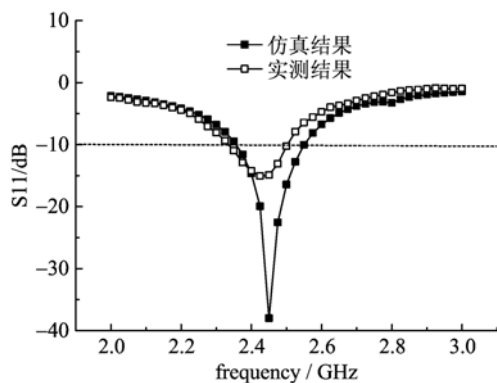


图 10 天线仿真与实测回波损耗比较

Fig. 10 Comparison between the simulated and measured return loss

利用搭建的数据传输系统对天线的信号覆盖进行测量. 图 11 为天线测试系统各模块示意图. 测试时固定无线网卡的 antenna 位置, 旋转待测天线, 每旋转一个角度测量一次上下行数据传输的速率, 当待测

天线旋转  $360^\circ$  后再次回到初始位置时, 测试过程结束. 无线网卡后端接入衰减器, 旨在模拟实际应用中墙壁对信号的衰减.

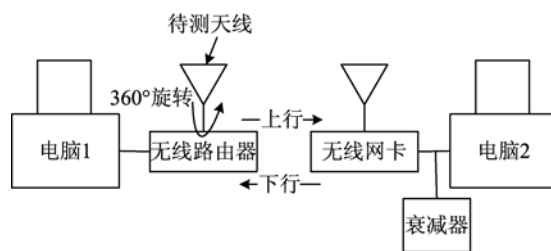


图 11 天线测试系统框图

Fig. 11 Block diagram of antenna measurement system

第一次测量时未加入链路衰减, 待测天线以  $5^\circ$  为步长旋转, 得到上下行数据传输速率随角度变化的规律, 如图 12(a) 所示. 可以看出天线在  $360^\circ$  范围内均能有效收发数据, 速率均能达到  $90$  Mbps 以上. 第二次测量时利用衰减器加入  $20$  dB 衰减, 等效模拟一堵墙对信号的衰减量, 得到如图 12(b) 所示的数据图. 图中  $170^\circ$  时上下行传输速率均出现下

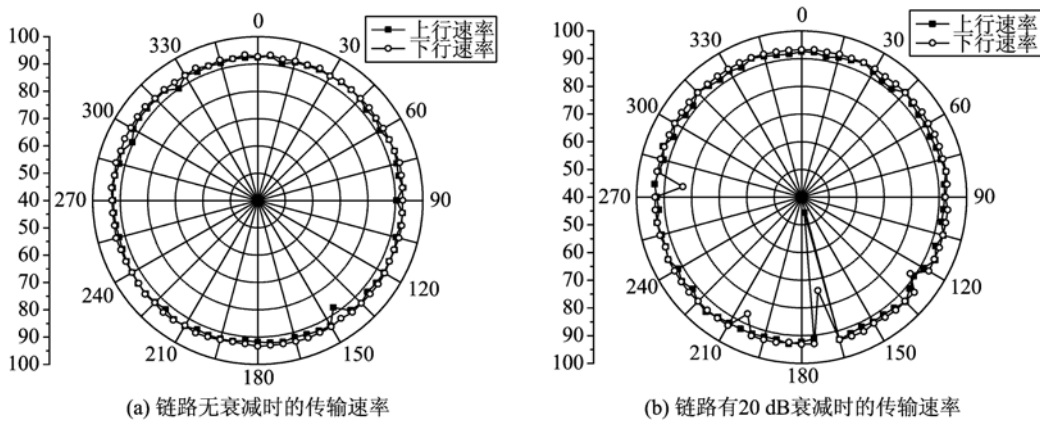


图 12 数据传输速率随角度的变化

Fig. 12 Measured data transmission rates with different angles

降, 对应于  $xoz$  面方向图出现的增益凹陷, 测试结果与仿真结果吻合.

第一次测量时由于没有链路衰减, 该角度较低的增益同样可以保证数据的正常传输. 第二次测量时加入衰减, 此时增益较低的角度无法正常收发数据, 表现为数据传输速率的下降.

### 4 结论

本文针对已有平面倒 F 天线的不足, 在综合考虑天线及 PCB 板尺寸、天线在 PCB 板上的安装位置以及塑料机壳参数等因素对天线性能的影响后, 设计了一个用于 WLAN 无线路由器的小型化平面倒 F 天线. 测试结果表明, 天线在 2.35~2.5 GHz 频带内回波损耗均小于 -10 dB, 工作带宽大于 100 MHz, 满足设计要求. 同时, 与传统平面倒 F 天线相比, 本文设计的天线有效展宽了波束宽度, 在  $xoz$  面和  $yo z$  面波束宽度分别达到 210° 和 290°, 通过测量天线在不同角度时的数据传输速率, 验证了该天线的辐射性能.

#### 参考文献 (References)

[ 1 ] Deng S M, Ysai C L, Chang S F, et al. A broadband CPW-fed planar inverted-F antenna [ C ] // Antennas

and Propagation Society International Symposium; Vol 3A. Piscataway: IEEE Press, 2005: 613-616.

[ 2 ] Stojilkovic V, Wilson G. A small planar inverted-F antenna with parasitic element for WLAN applications [ C ] // Tenth International Conference on Antennas and Propagation; vol. 1. Piscataway: IEEE Press, 1997: 82-85.

[ 3 ] Cao Shunfeng, Jiao Yongchang, Zhao Gang, et al. A compact planar inverted-F antenna for handset application [ C ] // 2009 3rd IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. Piscataway: IEEE Press, 2009: 673-675.

[ 4 ] Tian Tiehong, Zhou Zheng. Applications of planar inverted-F antenna for bluetooth [ C ] // Proceedings of 2003 International Conference on Communication Technology. Piscataway: IEEE Press, 2003: 1 230-1 233.

[ 5 ] Balanis C A. Antenna theory: analysis and design [ M ]. 3rd. John Wiley & Sons, 2001: 41, 820.

[ 6 ] Deng Zhongliang, Deng Peng. A study of WLAN planar printed antennas [ J ]. Modern Electronics Technique, 2007(17): 62-64.  
邓中亮, 邓鹏. WLAN 平面天线研究 [ J ]. 现代电子技术, 2007(17): 62-64.