

# 应用于 WLAN/WiMAX 的小型化全向三频天线\*

马汉清 褚庆昕

(华南理工大学 电子与信息学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 针对现有小型化多频天线结构比较复杂、天线的全向特性不理想的问题,文中提出了一种可同时工作在 WLAN(2.45 GHz, 5.15 ~ 5.85 GHz)和 WiMAX(3.50 GHz)三个频段的天线. 该天线采用了变形的顶加载单极天线结构,通过在主极化方向上引入多频谐振支节,实现了在三个工作频率上的垂直极化全向辐射及高度仅 10 mm、宽度仅 13 mm 的小型化设计. 实验结果表明,该天线在其 3 个工作频段内的回波损耗小于 -10 dB,实现了 H 面全向辐射,适合在移动环境中使用.

**关键词:** 天线; 移动通信; 多频天线; 全向天线; 小型化天线; 无线局域网

**中图分类号:** TN82

**文献标识码:** A

随着现代无线通信技术的飞速发展,同时工作在两个或多个频段的通信系统成为无线通信研究的一个重要方向<sup>[1]</sup>,因此多频微波元件是近年来的研究热点之一,这带动了多频天线技术的发展<sup>[2-3]</sup>. 另一方面,人们总是希望天线尺寸可以尽量减小以实现整个通信系统的小型化,而对应用于移动通信的天线则希望其具备全向特性,以保证稳定通信.

最常见的小型化多频天线结构是基于倒 F 天线的一些变形<sup>[4-9]</sup>,这些设计利用倒 F 天线的小型化、低剖面优势,通过开槽、增加支节等方法实现多频谐振. 然而为实现多频工作,引入的结构往往比较复杂,使得天线的全向特性不够理想.

为此,文中提出了一种可同时工作于无限局域网(WLAN, 2.45 GHz 与 5.15 ~ 5.85 GHz)和全球宽带微波接入(WiMAX, 3.50 GHz)三个频段的. 该天线采用了顶加载单极天线<sup>[10]</sup>的变形结构,通过在主极化方向上引入多频谐振支节,实现了在三个工作频率上的垂直极化全向辐射和小型化设计. 整个天线占用的空间为高度 10 mm、宽度 13 mm.

## 1 三频天线结构与参数分析

### 1.1 三频天线结构

三频天线照片见图 1,天线制作在相对介电常数为 3.6、厚度为 1.5 mm、损耗角正切为 0.008 的介质板上. 使用一块 20 mm × 30 mm 的金属覆铜来模拟实际通信系统的接地板,天线通过 50 Ω 微带线馈电,馈线下端连接同轴线接头(SMA 接头)以方便测试.

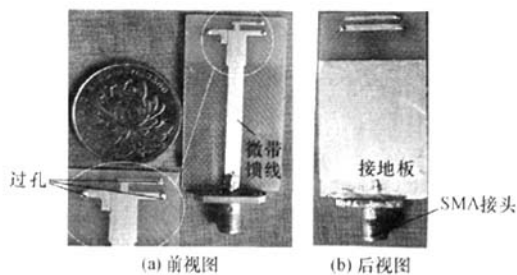


图 1 三频天线的照片

Fig. 1 Photograph of triple-band antenna

图 2 显示了天线主体的结构细节与尺寸. 天线印制在微带板的两面上,通过过孔连接,整个天线可视为由单极子部分、顶加载部分和顶加载支节部分

收稿日期: 2008-08-03

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U0635004, 07118061)

作者简介: 马汉清(1980-),男,博士生,主要从事天线研究. E-mail: vswr@163.com

构成。其中,单极子部分与顶加载部分的总长度,即沿  $ABCDEF$  路径的总长度  $L_1$  大约为最低工作频率 2.45 GHz 所对应的  $0.25\lambda$  ( $\lambda$  为波长)。0.25  $\lambda$  是带接地板的单极子天线的典型谐振频率,因此调整  $L_1$  可控制天线的最低谐振频率。顶加载部分的末端(即  $EF$  段)向下弯折一个长度  $L_2$ ,且靠近单极子,两者之间仅间距一个细小的 0.2 mm 缝隙。此缝隙可以等效为一个电容:在频率低端,容抗较大,此缝隙可以近似视为开路;在频率高端(5.15 ~ 5.85 GHz),容抗较小,可近似等效为短路。这样顶加载部分在频率高端可等效为长度为  $CD$  的一段线状顶加载结构。因此,调整单极子部分的高度  $h$  可使天线谐振频率在 5.20 ~ 5.80 GHz。单极子部分与支节加载结构的总长度  $L_3$  (沿  $ABGH$ ) 大约为 3.50 GHz 所对应的  $0.25\lambda$ ,从而实现在此频率的谐振。这样,通过调整参数  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $h$  即可使天线在多个需要的频率谐振。

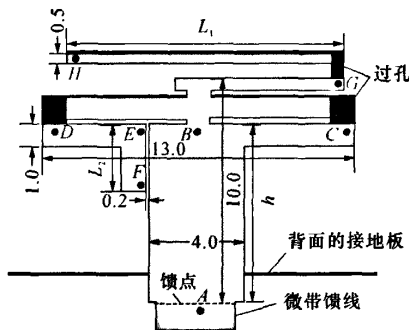


图2 天线结构示意图(单位:mm)

Fig.2 Sketch of antenna structure (Unit:mm)

这样,整个天线可以视为顶加载天线的变形。顶加载天线的主要辐射体是与其地面垂直的单极子部分,且在水平面具有全向的垂直极化特性。文中设计的天线继承了顶加载天线的这一特性,因此在水平方向( $xOy$  平面)上具有较好的全向性,适合在移动环境中使用。

### 1.2 参数分析

为分析该天线结构参数对其阻抗特性的影响,文中使用 Ansoft HFSS 仿真分析了三频天线的回波损耗随尺寸参数变化的情况。图 3(a)给出了天线的回波损耗随  $L_1$  变化的情况,此时其它尺寸保持不变。从图 3(a)中可以清楚地看出, $L_1$  的长度主要影响中间谐振点的位置,而对左右两个频点影响很小,因此,可以方便地通过调整  $L_1$  来调节中间谐振点的位置。

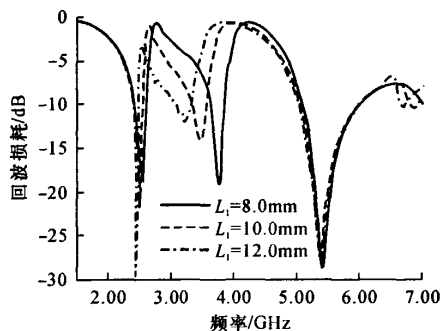
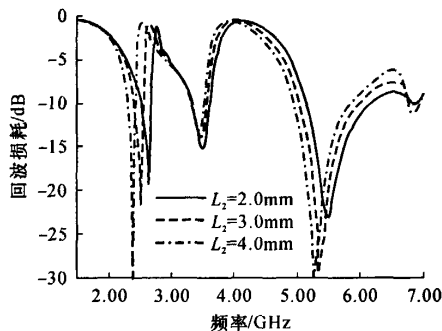
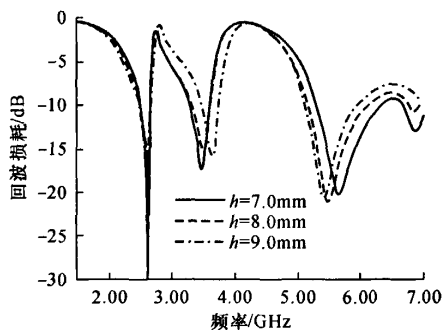
(a)  $L_1$  变化(b)  $L_2$  变化(c)  $h$  变化图3 三频天线的回波损耗随  $L_1$ 、 $L_2$  和  $h$  变化的曲线Fig.3 Changing curves of the return loss of the triple-band antenna with  $L_1$ ,  $L_2$  and  $h$ 

图 3(b) 给出了天线回波损耗随  $L_2$  变化的情况。从图 3(b) 中可以看出,当  $L_2$  变化时,最低谐振点的位置变化最明显,而中间谐振点则几乎不变。图 3(c) 给出了天线回波损耗随单极子高度  $h$  变化的情况,从图 3(c) 中可以看到, $h$  在一定范围内变化时,最低谐振频率几乎没有受到影响,而最高谐振频率受到的影响明显。

经过仔细的优化设计,可获得理想的天线阻抗特性,最终的设计尺寸为  $L_1 = 11.5$  mm,  $L_2 = 2.8$  mm,  $h = 8.0$  mm。

## 2 设计结果

### 2.1 阻抗特性

按照上述分析与设计过程,实际制作了一副三频天线并进行了测试。

该天线的回波损耗测试结果与仿真结果如图4所示。其中灰色方块表示 WLAN 与 WiMAX 所使用的频率。从图4中可以知道,仿真结果与测试结果基本吻合,测试所得天线回波损耗小于  $-10$  dB 的频段分别为:2.40~2.50 GHz、3.20~3.60 GHz 和 5.15~5.85 GHz。可见所设计的天线满足应用指标。

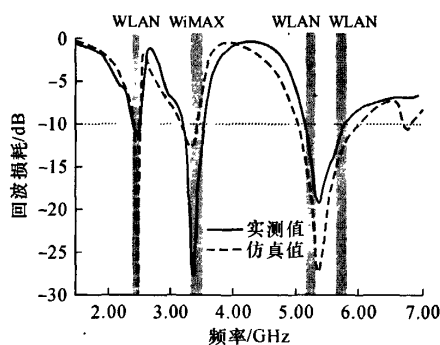


图4 三频天线回波损耗的实测与仿真结果

Fig. 4 Measured and simulated results of the return loss of the triple-band antenna

### 2.2 方向图特性

在室外开阔场地对天线远场辐射特性进行了测试。三频天线增益测试结果如图5所示。图5表明,在2.45、3.50和5.15~5.85 GHz三个频段,天线的增益均在0 dB以上,在高频段最大增益可达5 dB,其中实测结果略高于仿真结果的主要原因是测试信号的起伏波动。在不同频率下三频天线的E面和H面方向图如图6所示,表明此天线在E面( $xOz$ 平面)

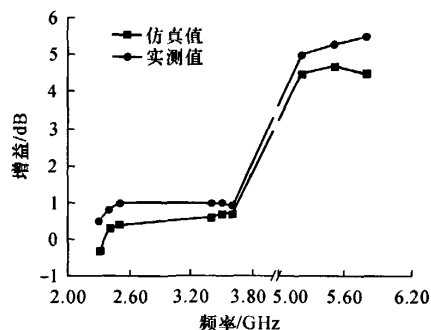


图5 三频天线增益的仿真与实测结果

Fig. 5 Simulated and measured results of the gain of the triple-band antenna

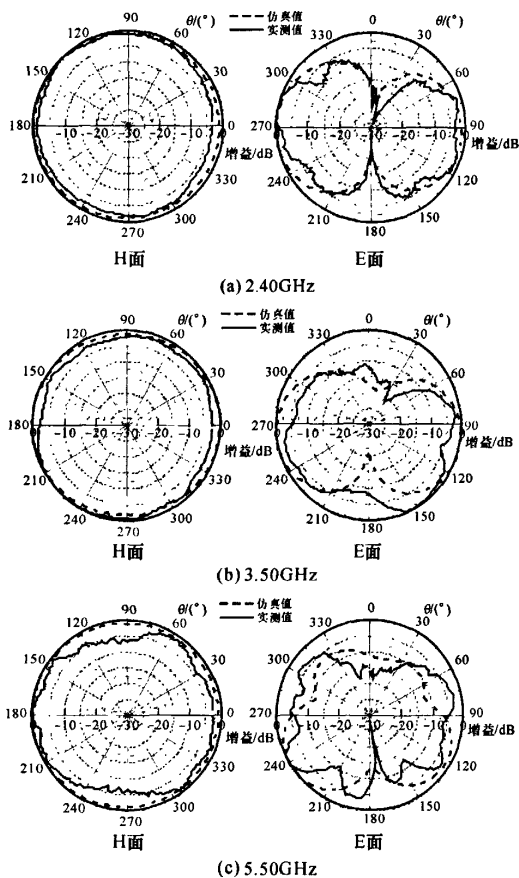


图6 不同频率下三频天线的E面和H面方向图

Fig. 6 E-plane and H-plane patterns of the triple-band antenna with different frequencies

的方向图类似半波振子的方向图,而在H面( $xOy$ 平面)的方向图具有良好的全向特性;实测结果与仿真结果的差异可能主要来自两个方面:(1)测试馈线的影响;(2)测试场地周围建筑及地面反射波的影响。在所有的工作频段,仿真结果表明,在 $xOy$ 平面上垂直极化分量均比水平极化分量大15 dB以上,天线具有较好的极化特性,限于篇幅,这里不再给出具体的方向图。

## 3 结语

文中提出了一种小型化三频印刷天线的设计方法,该方法可以方便地调节三个谐振点的范围。所设计的天线可工作于WLAN与WiMAX所对应的2.45、3.50和5.15~5.85 GHz三个频段,其高度小于最低工作频率对应的 $1/10 \lambda$ ,实现了小型化设计。同时,该天线可以采用印刷电路板技术制作,可

容易地与通信系统集成,制造方便,成本低廉.由于天线为顶加载单极子结构,因此在其 H 面具有良好的全向特性,适合在移动通信场合使用.

#### 参考文献:

- [1] 陈付昌,褚庆昕.基于组合多通带谐振器的三频滤波器设计[J].华南理工大学学报:自然科学版,2009,37(1):10-14.  
Chen Fu-chang, Chu Qing-xin. Design of triple-band filter based on assembled multiband resonator [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 37(1): 10-14.
- [2] Ma Han-qing, Chu Qing-xin. Compact dual-band printed monopole antenna for WLAN application [J]. Electronics Letters, 2008, 44(14): 834-836.
- [3] Xin G L, Xu J P. Wideband miniature G-shaped antenna for dual-band WLAN applications [J]. Electronics Letters, 2007, 43(24): 1330-1332.
- [4] 戚冬生,黎滨洪,刘海涛.新型可用于移动手持设备的小型三频天线[J].上海交通大学学报,2004,38(12):1979-1985.  
Qi Dong-sheng, Li Bin-hong, Liu Hai-tao. New compact triple-band antenna for mobile handsets [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2004, 38(12): 1979-1985.
- [5] 牛凤,李征帆.一种新型缝隙加载三频平面倒 F 天线[J].上海交通大学学报,2006,40(9):1492-1495.  
Niu Feng, Li Zheng-fan. A novel slot-loaded triple-band planar inverted-F antenna [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(9): 1492-1495.
- [6] Chen C F, Huang T Y, Wu R B. Design of dual- and triple-passband filters using alternately cascaded multiband resonators [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2006, 54(9): 3550-3558.
- [7] Wong Kin-lu, Lai Peng-yu. Wideband integrated monopole slot antenna for WLAN/WiMAX operation in the mobile phone [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(8): 2000-2005.
- [8] Pazin Lev, Telzhensky Nikolay, Leviatan Yehuda. Multi-band flat-plate inverted-F antenna for Wi-Fi/WiMAX operation [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008, 7: 197-200.
- [9] Chen Wen-shan, Chang Wen-yen. Novel u-shaped strip-slot printed antenna for triple frequency operation [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(8): 2219-2223.
- [10] Stutzman Warren L, Thiele Gary A. Antenna theory and design [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

## Compact Omnidirectional Triple-Band Antenna Applied to WLAN/WiMAX

Ma Han-qing    Chu Qing-xin

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

**Abstract:** As the existing compact multiband antennas are usually of complicated structure and unidirectional radiation, this paper presents a novel antenna applied to WLAN (2.45 GHz and 5.15 ~ 5.85 GHz) and WiMAX (3.50 GHz). The antenna is a monopole with modified top-loaded resonant structures that consist of folded strip lines in horizontal direction. It is compact in size with a height of only 10 mm and a width of only 13 mm. Moreover, it realizes the vertically-polarized omnidirectional radiation in the three operation bands. Experimental results show that the return loss of the antenna in the operation bands is less than -10 dB, and that the antenna is suitable for mobile applications because it provides omnidirectional radiation patterns in the H-plane.

**Key words:** antenna; mobile communication; multiband antenna; omnidirectional antenna; compact antenna; wireless LAN

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>