

一种新型小型双频微带天线的设计与分析

陆小芳, 单志勇

(东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620)

【摘要】随着移动终端的发展, 内置天线需达到小型化, 低剖面, 能工作在不同频段下。文中采用了弯折路径, 开槽缝隙加载的方法设计一种新型双频微带天线。天线辐射贴片尺寸为 $30\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, 工作频段分别为 DCS1800 (1.71~1.88 GHz) 和 WLAN (2.4~2.484 GHz)。利用三维高频结构电磁场仿真 (HFSS10.0) 进行了 3D 建模与电磁仿真分析研究。通过改变缝隙大小实现天线双频稳定工作。改进后的天线结构简单, 性能良好, 具有良好的应用前景。

【关键词】微带天线; 双频段; HFSS10.0; 小型化

【中图分类号】 TN828.6

【文献标识码】 A

【文章编号】 1002-0802(2011)04-0055-04

Design and Analysis of a Novel Small Dual-frequency Microstrip Antenna

LU Xiao-fang, SHAN Zhi-yong

(Science and Technology Institute of Donghua University, Shanghai 201620, China)

【Abstract】 With the development of mobile terminal, the built-in antenna must be of small-size, low-profile geometry, and could work under different frequencies. In this paper, a novel dual-band micro-strip antenna is analyzed and designed by bending the patch and loading the aperture. The radiation size of the antenna is $30\text{ mm} \times 20\text{ mm}$. The simulation result shows that the frequency channels of the antenna are DCS1800 (1.71GHz~1.88GHz) and WLAN (2.4GHz~2.484GHz). HFSS is employed for verification and optimization, thus to obtain design parameters of the antenna. The size of the aperture is changed, thus to achieve the stability of the dual-band micro-strip antenna. The improved antenna, with good application prospect, is simple in structure, and good in performance.

【Key words】 micro-strip antenna; dual-band; HFSS 10.0; miniaturization

0 引言

在移动通信领域, 频谱资源变得越来越紧张。移动电话除了能与移动电话网络通信外, 未来还必须能够与许多其他设备和网络进行通信, 而移动电话与它们通信采用的技术包括了蓝牙、IEEE802.11b (WLAN) 和 GPS 等。为了满足用户快速增长的各种要求, 天线的频段也已从 GSM 频段扩展到 DCS&PCS 频段, 以至最近业务 3G 频段 (WCDMA、TD-SCDMA、CDMA2000), 以及由 3G 扩展成 4G 频段, 此外广泛应用的还有 Bluetooth、无线局域网频段、GPS 等, 这些都要手机等持有无线功能的设备的天线具有双频、三频、甚至更多频无线信号收发功能。设计的手机需要在不同的外形及大小的要求下, 天线仍然具备高效能, 低辐射, 低成本, 小尺寸, 易共形安装等特性。因此, 手机天线未来的

收稿日期: 2010-11-12。

作者简介: 陆小芳 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为内置天线小型化多频段的研究; 单志勇 (1972-), 男, 副教授, 主要研究方向为微波研究。

发展趋势必将将是内置化、多频化、宽频化和小型化^[1-2]。

微带天线作为 20 世纪 70 年代研究成功的一种新型天线, 微带天线以其结构简单、重量轻、低剖面、易与飞行器表面共形安装、易与微带电路集成等优点, 在通信、雷达等领域得到了广泛的应用。

本文分析和研究了一种弯折路径、加载开槽缝隙的双频微带天线技术, 天线的整体尺寸为 $30\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, 此天线在结构上保持了天线结构简单、馈电方便等优点的同时, 实现双频工作。

1 多频段天线技术

天线实现多频段的技术有:

①采用单一贴片, 利用几种不同的自然模式来实现。文献[3]在矩形微带贴片上采用偏置同轴馈电实现正交模式的同时激发 TM_{10} 与 TM_{01} 实现双频工作。

②采用单一贴片, 通过加载或者开槽的方法使谐振频率

受到干扰来实现。文献[4]加载短路探针,在高次模的电流分布呈现最小值处加载短路探针,能引起该模式谐振频率的强烈扰动,而其他模式保持不受影响。文献[5]设计了一种加多个短路探针和天线开槽的双频天线,短路针的数量取决于双频比的大小。

③采用多贴片,如采用谐振频率不同的贴片或是采用各个辐射单元构成多谐振点来实现。

2 小型化天线技术

天线的小型化技术有:

①镜像技术:使用“地平面”,即通过导体构成镜面。在手机天线中的单极天线就是利用手机的 PCB 板作为其接地板,这样利用接地板可以减小天线尺寸,同时不用占用额外的空间来放置地板。

②介质加载技术:通过改变天线周围的电解质或是磁介质的方式进行。文献[6]中,由于电波在高介电常数物质中的波长比在空气中的波长要短,天线在这种物质中尺寸会减小。

③表面开槽技术:又称“曲流技术”,是通过表面开槽改变电流路径来实现的。贴片表面开槽,切断原来的电流路径,使电流绕槽边曲折流过而路径变长。目前表面开槽技术广泛应用于微带天线小型化中,文献[7]中通过在贴片的非辐射区边缘挖几个弯曲的槽来获得。

④短路加载技术:有短路面加载、短路片加载和短路探针加载三种方法。

⑤采用具有慢波特性的结构:通过人为改变传统微波电路分布参数,使得原电路系统相对电长度变大,对应于在较小空间内实现天线结构,做到小型化。

3 设计原理

本文采用的基板材料为普通 FR4 板,基板厚度为 5 mm,介电常数为 4.4,天线馈电方式采用同轴馈电,中心频率为 2.45 GHz。

天线尺寸计算公式为^[8-9]:

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$\Delta l = 0.412h \left(\frac{\epsilon_r + 0.3}{\epsilon_r - 0.258} \right) \frac{\frac{w}{h} + 0.264}{\frac{w}{h} + 0.8}, \quad (2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l, \quad (4)$$

其中, L 为贴片长度, W 为贴片宽度, ϵ_e 为相对介电常数, ϵ_r 为介电常数, Δl 为缝隙等效长度, f_r 为天线中心频率。经分析知,由介电常数和中心频率即可得出天线尺寸。

从理论上讲,接地板可以视为无限大,然而在实际工

程设计中,考虑到天线安装尺寸、重量及其成本方面的诸多因素,接地板的尺寸应尽可能小。在实际工程设计中,接地板都是有限面积的。由微带天线理论知:当接地板比微带天线大出 $6h$ 的距离时,计算结果可以达到足够的精确。因此设计接地板的只需满足以下两式即可:

$$W_{\text{Gnd}} \geq W + 6h, \quad (5)$$

$$L_{\text{Gnd}} \geq L + 6h, \quad (6)$$

其中 W_{GND} 为接地板的宽度, L_{GND} 为接地板长度, h 为介质层厚度。

结合以上各种因素,最终天线尺寸为:辐射板尺寸:30 mm × 20 mm; 接地板尺寸:70 mm × 70 mm; 天线厚度:5 mm。

对于同轴馈电的微带贴片天线,在确定了贴片长度 L 和宽度 W 之后,还需要确定同轴馈电点的位置,馈点的位置会影响天线的输入阻抗。在微波应用设计中是通常使用 50 Ω 的标准阻抗,因此需要确定馈点的位置使天线的输入阻抗等于 50 Ω。

在矩形贴片上开槽可以引出新的谐振路径,产生一个与原谐振频率较为接近的谐振频率。当电流路径发生弯折时,不仅可以减小天线物理尺寸,还会同时产生新的谐振频率,这个谐振频率不是人为增加的谐振路径引起的,而是由于电流路径发生弯折,部分电流在弯折处断流形成新的较短的谐振路径。因此,天线设计的模型图如图 1 所示。

图 1 中馈点在 W 反向上的中心点处,输入阻抗满足 50 Ω。在辐射板上开槽,弯折路径,形成上图所示的缝隙,该缝隙阻挡了矩形贴片上的电流,从而改变了其电流分布,使贴片表现出双频效应。由于采用了同轴馈电,馈点到四个辐射边的电流路径因缝隙的存在而被延长,降低了天线贴片的谐振效率。从同轴线馈送到辐射片的电流由于受到弯折缝隙的阻挡,则由这个弯折缝隙所围区域产生了一个假象的辐射贴片,所以可以通过改变弯折缝隙的尺寸大小来改变其双频特性。

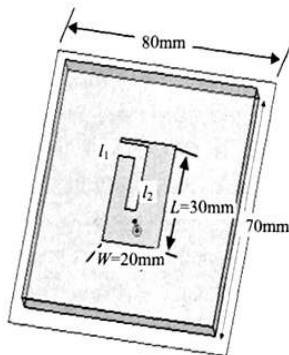


图 1 天线的尺寸结构

4 天线仿真分析

Ansoft 公司的 HFSS(High Frequency Structure Simulator)是一种高性能的全波电磁仿真环境,基于有限元的数值计算方法,支持 3D 建模和仿真。本文利用 HFSS 仿真分析工具

对按照天线结构建立仿真模型，分析仿真结果。

回波损耗是描述天线的输入端由于阻抗不匹配造成的能量反射损失，定义为 $10\lg|S_{11}|^2$ 。在移动的天线设计中，定义-6 dB 以下可以表示可以接受的范围，并将其定义为带宽。 $l_1=10\text{ mm}$ ， $l_2=13.5\text{ mm}$ ，在 $VSWR<3.0$ 内（即 $S_{11}\leq -6\text{ dB}$ ），图2回波损耗扫描曲线中， S_{11} 曲线如图3，有两个谐振频率，分别为1.76 GHz和2.45 GHz，但由图3知，到达中心频率前，曲线折了一小段。其相对带宽分别为：20.11%和7.96%，满足天线谐振频率工作在DCS和WLAN两个频段内，且天线可以实现较宽带宽工作的特性。

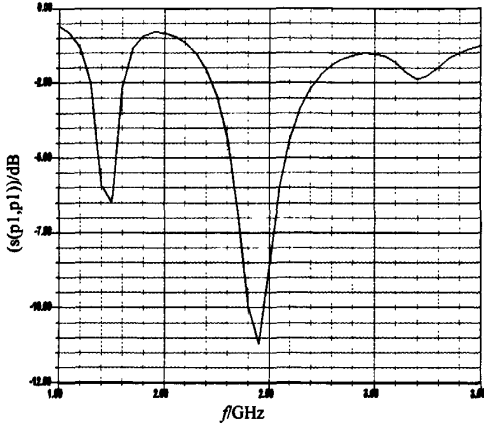


图2 $l_2=13.5\text{ mm}$ 时的 S_{11} 仿真分析结果

天线的仿真的辐射结果如图3和图4。

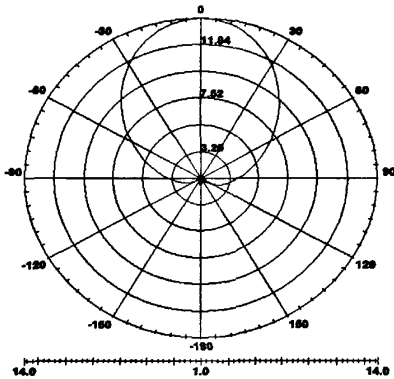


图3 谐振频率为2.45 GHz时的E面辐射方向图

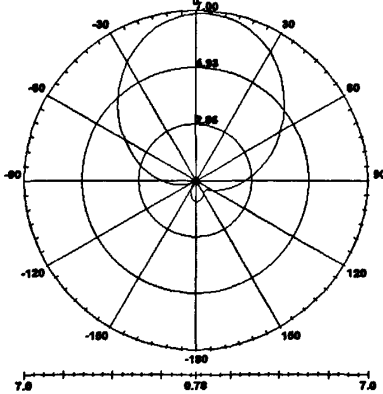


图4 谐振频率为1.76 GHz时的E面辐射方向图

由图3、图4的天线方向图可以看出，当频率为1.76 GHz时，天线的主辐射图在 $-30^\circ\sim 30^\circ$ ，天线的主辐射为 0° ，此时方向天线增益为16.372 dB，天线的后向辐射较小，其前后比约为15.542 dB。当谐振频率为2.45 GHz时，天线的主辐射在 $-30^\circ\sim 45^\circ$ ，天线的后辐射较大。

5 天线改进

由于由于天线接地板尺寸有限，不满足可以视为无限大的条件，故天线存在后向辐射。为抑制天线的后向辐射，改善天线的前后比，可以通过对弯折缝隙长度的调整来获得较好的辐射性能。

当 $l_2=14\text{ mm}$ 时， S_{11} 曲线如图5，天线有两个谐振频率，分别为1.7 GHz和2.45 GHz，可以工作WLAN(2.4~2.484 GHz)频段内，但结果显示1.7 GHz不在DCS频段内。

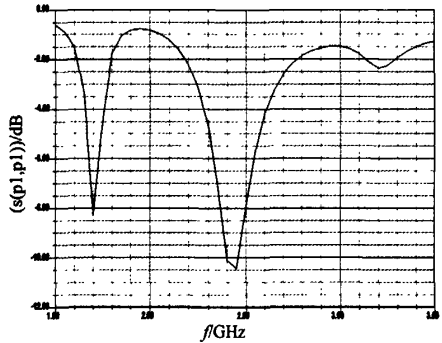


图5 $l_2=14\text{ mm}$ 时的 S_{11} 仿真分析结果

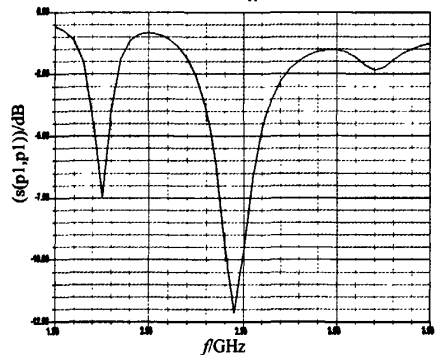


图6 $l_2=13\text{ mm}$ 时的 S_{11} 仿真分析结果

当 $l_2=13\text{ mm}$ 时， S_{11} 曲线如图6，天线有两个谐振频率，分别为分别为1.75 GHz和2.44 GHz，可以工作在两个频段DCS1800(1.71~1.88 GHz)，WLAN(2.4~2.484 GHz)。

由图5至图6的仿真结果和分析可知：在 $l_1=10\text{ mm}$ ， $l_2=13\text{ mm}$ 时，两个谐振频率覆盖DCS和WLAN两个频段且曲线平滑。当 $l_2=14\text{ mm}$ ，即增大0.5 mm时，天线工作在单频段或是没有覆盖两个频段。可见，可以通过调整 l_2 的长度来设计双频段。

当 $l_2=13\text{ mm}$ 时，天线的辐射方向图如图7和图8。

对比图4、图8知，天线的后向辐射减小了。由图7、图8可知，天线的后向辐射有所减小。1.74 GHz和2.45 GHz时的天线前后比分别为15.49 dB和13.912 dB，改进后天线前后比分别改善了0.05 dB，天线的增益没有明显增加。

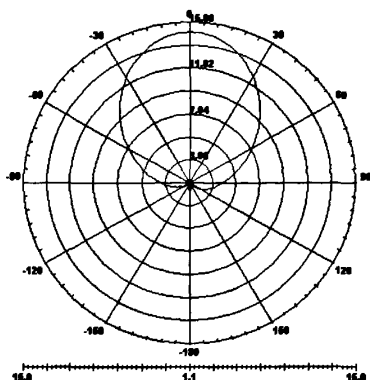


图 7 谐振频率为 2.44 GHz 时的 E 面辐射方向图

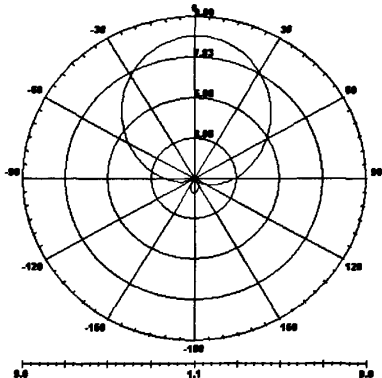


图 8 谐振频率为 1.74 GHz 时的 E 面辐射方向图

由以上分析可以看出,通过改变天线弯折路径长度的方法可以有效改善天线的主瓣分离现象,增加天线的增益和带宽,并且在一定程度上抑制天线的后向辐射。

6 结语

本文采用弯折开槽缝隙加载结构的微带天线实现 DCS 和 WLAN 的双频工作特性,并对缝隙长度对天线整体性能进行了相应的分析。通过仿真分析表明,弯折电流路径,降低了工作频率,增加了谐振频率。此外通过改变缝隙的大小,分析各尺寸下的谐振频率,达到选择合适的缝隙实现双频的稳定工作,改进后的天线可以有效的抑制天线后向辐射。所设计的天线结构简单,性能良好,具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 徐娜,赵春晖.平面倒置 F 型三频手机天线的设计[J].应用科技,2007,34(3):44-49.
- [2] 樊明延,张雪霞,冯正和.移动通信中小天线技术新进展[J].通信市场,2003(6):80-82.
- [3] CHEN J S. A Single_layer Dual_frequency Rectangular Microstrip Patch Antenna Using a Single Probe Feed[J].Microwave Opt. Technol. Lett.,1996(11):83-84.
- [4] LESWONG K, CHEN W S.Compact Microstrip Antenna with Dual-frequency Operation[J]. Electronics Letters, 1997, 33(8):646-647.
- [5] 陈斌,梁昌洪.大频差单馈双频双层微带天线研究[J].空间电子技术,2008,5(1):77-80.
- [6] WBNG Kin-Lu.Compact and Broadband Microstrip Antenna[M].New York:John Wiley & Son,2002.
- [7] DEY I S, MITTRA R.Compact Microstrip Patch Antenna[J]. Microwave Opt. Technol. Lett.,1996(13):12-14.
- [8] 鲍尔 J,布哈蒂亚 P.微带天线[M].北京:电子工业出版社,1985.
- [9] 林昌禄.近代天线设计[M].北京:人民邮电出版社,1990.

(上接第 54 页)

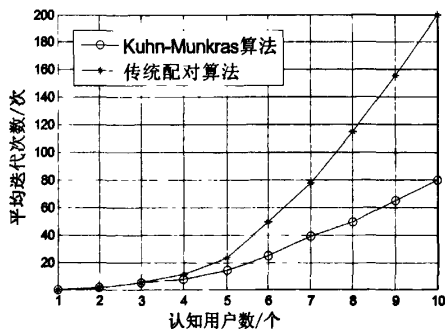


图 2 Kuhn-Munkras 算法与传统配对算法收敛速度比较

4 结语

在干扰温度模型下,将 Kuhn-Munkras 算法应用于认知无线电系统,利用了 Kuhn-Munkras 算法可以实现最优匹配的特性,通过次用户的 SINR 值构造赋权二分图,提出了一种新型的认知无线网络频谱分配策略。仿真表明该策略一定程度上改善了频谱分配的收敛速度,并且该策略不需要复杂的数值化,便于实现。

参考文献

- [1] MITOLA J.Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communication[J]. Mobile Networks and Application,2001,6(5): 435-441.
- [2] 白敏丹.基于认知无线电的无线通信研究现状[J].通信技术,2010,43(5):4-7.
- [3] 洪露,王慧.基于软件无线电的 FSK 系统设计[J].通信技术,2010,43(7):72-75.
- [4] ALTMAN E. A Survey on Networking Games in Telecommunications[J]. Computers & Operations Research, 2006,5(33): 286-311.
- [5] NIE N, COMANICIU C. Adaptive Channel Allocation Spectrum Etiquette for Cognitive Radio Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2005,2(5): 23-30.
- [6] ZHENG H, PENG C. Collaboration and Fairness in Opportunistic Spectrum Access[J]. IEEE, 2005,12(5): 3132-3136.
- [7] GANG Hu,LIU Lixia. Approximated Matching-Based Spectrum Access Algorithm for Heterogenous Cognitive Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2009,6(11): 53-56.
- [8] LE L, HOSSAIN E. Resource Allocation for Spectrum Underlay in Cognitive Radio Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2008,7(12): 5306-5315.
- [9] 张先迪,李正良.图论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003.

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)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)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)，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>