

文章编号: 1671-0576(2020)03-0041-05

一种高隔离度的微带双频 MIMO 天线设计

陈晓锋¹, 周殊伦², 文蓓怡¹, 曹捷¹, 韩如冰¹

(1. 上海无线电设备研究所, 上海 201109; 2. 上海航天电子技术研究所, 上海 201109)

摘要: 针对无线通信系统对高通信速率、高通信容量的需求, 设计了一种高隔离度的双频多输入多输出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)天线。该 MIMO 天线采用微带形式, 选用弯折型单极子天线作为高频谐振单元, 通过增加背面谐振单元引入低频谐振, 实现了 2.4 GHz 和 5 GHz 双频工作, 并采用在地板上开槽和在背面悬置金属线的方法解决了天线单元之间的互耦问题。仿真结果表明, 天线的工作带宽、隔离度、增益、不圆度等参数均满足设计要求。

关键词: 高隔离度; 双频; 多输入多输出天线

中图分类号: TN82

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-0576.2020.03.007

Design of a Dual-band Microstrip MIMO Antenna with High Isolation

CHEN Xiao-feng¹, ZHOU Shu-lun², WEN Bei-yi¹, CAO Jie¹, HAN Ru-bing¹

(1. Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 201109, China;

2. Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: In order to meet the requirements of high communication rate and high capacity in wireless communication system, a dual band multiple input multiple output (MIMO) antenna with high isolation is designed. The MIMO antenna adopts the microstrip form and the bent monopole antenna is used as the high frequency resonant unit. By adding the backside resonant unit to introduce the low frequency resonance the 2.4 GHz and 5 GHz dual-frequency operation is realized. Meanwhile, the mutual coupling between the antenna elements is solved by slotting on the floor and mounting metal wire on the backside. The simulation results show that the antenna parameters such as the bandwidth, isolation, gain and out of roundness meet the design requirements.

Key words: high isolation; dual-band; MIMO antenna

0 引言

天线作为无线通信系统射频前端的重要组成部分,其性能对系统通信能力有决定性的影响。随着现代通信技术的进步,天线的设计面临着越来越严峻的挑战。首先,通信系统的集成度日益提高,天线可以利用的空间被不断压缩;其次,为了满足多频段、高增益、高辐射效率的通信需求,天线个数不断增多,导致不同天线之间的互耦增大,天线方向图恶化,信道容量降低。将 MIMO 天线应用于无线通信系统,通过多个天线实现多发多收,可以在不增加频谱资源和天线发射功率的前提下,成倍提高系统信道容量,具有明显的优势。

微带天线具有结构简单、剖面低、尺寸小、电性能多样化等优点,而且成本低、易于集成,适合批量生产。随着微带技术的日益成熟及现代通信中频段的日益拥挤,人们逐渐把研究重点转向频率较高的厘米波、毫米波甚至太赫兹频段。将微带 MIMO 天线应用于通信设备中,是未来实现天线小型化、多功能的一个可行方案。

近年来,国内外大量学者将 MIMO 天线领域的研究重心放在了降低天线单元之间的互耦上。MIMO 天线间的互耦主要是受地板表面电流的影响,降低 MIMO 天线单元间互耦的方法很多。文献[1]引入紧凑平面螺旋线,文献[2]和文献[3]采用中和线的方式,文献[4]在超宽带 MIMO 天线间引入 T 型枝节结构,文献[5]引入双倒 E 型枝节结构,文献[6]采用在地板上添加地缝的方式。另一个重点研究方向为多频 MIMO 天线。通过单个天线或天线阵就可实现天线在多个频段工作,可代替传统的单天线单频工作模式。文献[7]~文献[10]对双频或者多频 MIMO 天线进行了详细设计。

1 天线设计

本文设计了一款双频带 MIMO 天线。该天线单元结构简单,由正面弯折的单极子和背面产生低频谐振的弯折金属线组成,利用将单极子天线弯折的方法节约了空间。在 5 GHz 高频段,正面的单极子天线为主要辐射体,背面的金属线可

以看作是 MIMO 单元之间的隔离结构。在 2.4 GHz 低频段,背面的金属线通过正面单极子天线的耦合馈电来辐射能量,此时可以将双频带的降耦问题简化成低频段的降耦问题,降低了 MIMO 天线的设计难度。

1.1 双频 MIMO 天线设计

本文所设计的天线基板材料均为 FR4,其相对介电常数为 4.4,损耗角正切为 0.01,厚度为 0.8 mm,介质板为边长 20 mm 的正方形。高频段 5 GHz 天线单元为弯折型单极子,其结构示意图见图 1。弯折型单极子由传统的直线单极子演变而来,其有效的电长度约为 $1/4$ 工作波长。相比于直线单极子,此结构不仅降低了天线高度、节省了空间,而且能使天线能量更好地耦合到背面的低频辐射结构上。使用全波电磁仿真软件 CST 对天线参数进行优化,确定天线结构参数为: $L_1 = 10.5$ mm, $L_2 = 12$ mm, $L_3 = 5$ mm, $L_4 = 9$ mm, $L_5 = 5$ mm, $L_6 = 8$ mm, $L_7 = 3$ mm, $W_1 = 1.5$ mm, $W_2 = 1$ mm。

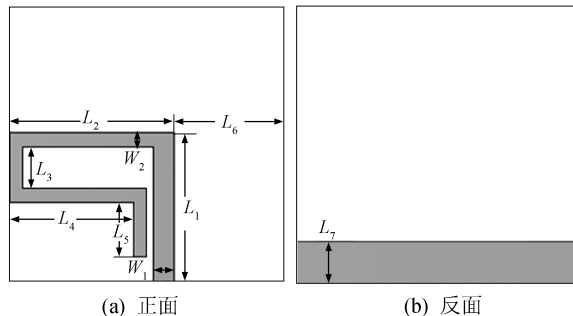


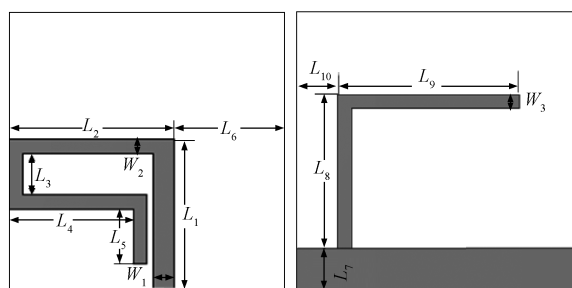
图 1 单频天线结构示意图

在单频天线单元反面加入弯折型枝节,通过正面单极子耦合馈电,实现在 2.4 GHz 的信号辐射,即构成双频天线,其结构示意图见图 2。经过仿真优化后得到弯折型枝节的结构尺寸: $L_8 = 10$ mm, $L_9 = 13$ mm, $L_{10} = 3$ mm, $W_3 = 1$ mm。

将两个相同的双频天线集成为一个双单元 MIMO 天线,如图 3 所示。反面的弯折型金属不仅是 2.4 GHz 频段的辐射体,同样也是天线在其他频段的隔离结构,可以有效地减弱由近场辐射电场引起的互耦。

1.2 开槽降耦设计

MIMO 天线反面的弯折型金属结构可以隔



(a) 正面 (b) 反面

图 2 双频天线结构示意图

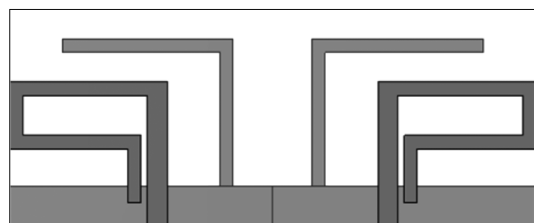


图 3 MIMO 天线结构示意图

离高频段的两个端口互耦,但是不能隔离低频段的互耦,天线隔离度无法满足使用要求。对 MIMO 天线电流分布进行分析,电流分布如图 4 所示。在 2.4 GHz 状态下,当右侧端口 1 馈电时,电流通过地板流至左侧背面弯折型金属上,使左侧弯折金属也产生辐射,同时也有电流流至左侧端口 2。

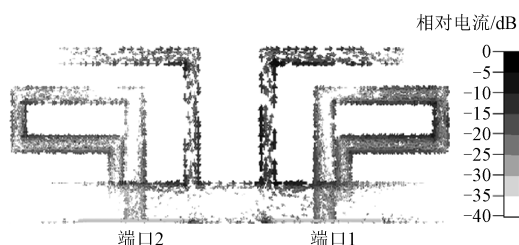


图 4 MIMO 天线电流分布图

利用在地板上开槽的方法来阻断电流通过地板,天线结构如图 5 所示。其中, $L_{11} = 2 \text{ mm}$, $L_{12} = 3 \text{ mm}$ 。

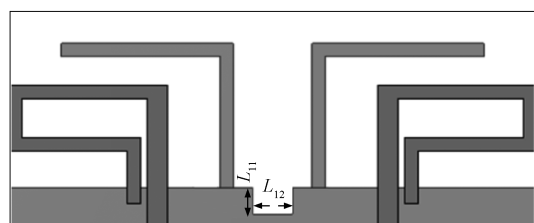


图 5 增加开槽 MIMO 天线结构图

增加开槽后,天线的电流分布如图 6 所示。

通过地板从端口 1 流至端口 2 的电流有所减小,但是仍会通过两个天线单元背面的弯折型金属产生互相耦合,隔离度仍不满足设计需求。

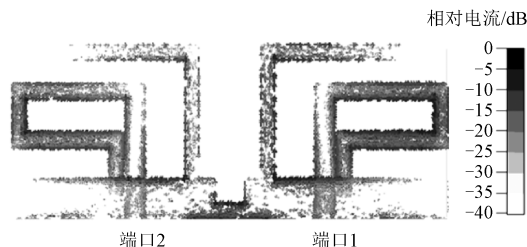


图 6 增加开槽 MIMO 天线电流分布图

1.3 悬置金属线降耦设计

在两条弯折金属之间添加一条悬置金属线,引入新的耦合去抵消初始耦合,如图 7 所示。其中, $L_{13} = 6 \text{ mm}$, $L_{14} = 5 \text{ mm}$, $W_4 = 1 \text{ mm}$ 。与传统的中和线不同,该天线中的金属线并没有直接连接天线单元,且与天线的馈电线垂直,对天线本身的匹配影响较小。

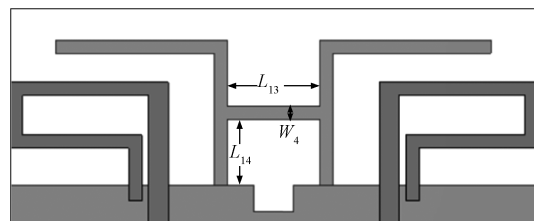


图 7 再增加悬置金属线 MIMO 天线结构图

增加悬置金属线后的 MIMO 天线电流分布见图 8。可以发现引入反面的悬置金属线后,两个端口之间的互耦明显地减少了。

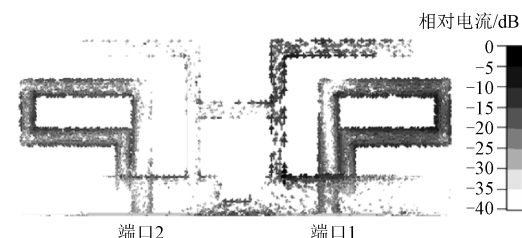


图 8 再增加悬置金属线 MIMO 天线 2.4 GHz 电流分布图

2 仿真结果

2.1 回波损耗

单频天线和双频天线的输入回波损耗仿真结

果如图 9 所示。没有背面耦合结构的单频天线只在(4.81~5.30) GHz(相对带宽 9.8%)频带内实现了阻抗匹配,中心频率为 5 GHz。而在背面地板上加入弯折型辐射结构的双频天线,其弯折型辐射结构从正面单极子处耦合到能量并产生辐射,天线在(2.37~2.43)GHz(相对带宽 2.5%)频带内也实现了阻抗匹配,中心频率为 2.4 GHz。

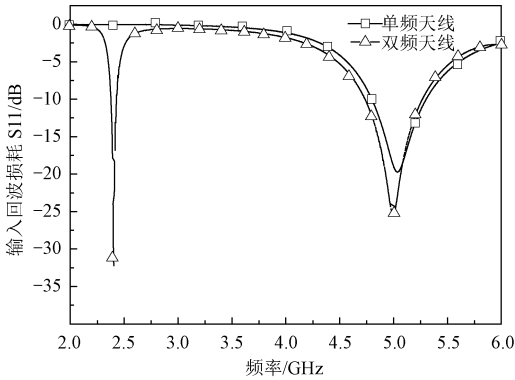


图 9 天线输入回波损耗 S11 仿真结果

2.2 隔离度

本文设计的 MIMO 天线的 S 参数(S11、S12)仿真结果如图 10~图 12 所示。由图 10 可知,未采取降耦措施的 MIMO 天线的隔离度 S12 在 5 GHz 频段范围内小于-17.5 dB,在 2.4 GHz 频段范围内仅不大于-7.3 dB,2.4 GHz 频段内性能不满足工作要求。而图 11 中开槽后的 MIMO 天线的低频隔离度仅仅从-7.3 dB 增大到了-10.5 dB 左右。图 12 中悬置金属线后 MIMO 天线的低频隔离度增大到了-20 dB 左右,同时也没有对 S11 产生大的影响。因此,采用开槽和悬置金属线来减小互耦的方法是有效的。

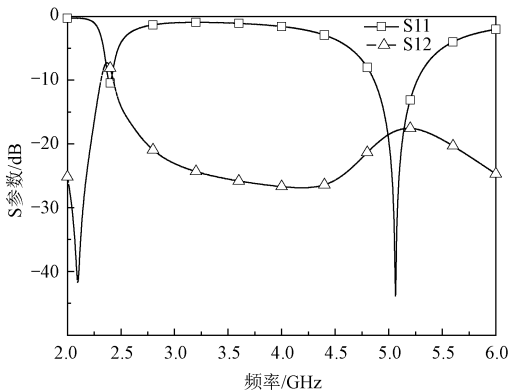


图 10 未采取降耦措施的 MIMO 天线 S 参数仿真结果

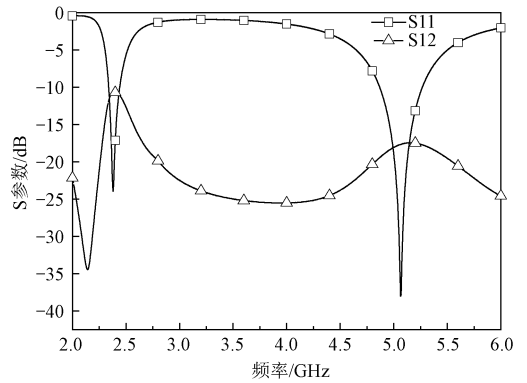


图 11 增加开槽的 MIMO 天线 S 参数仿真结果

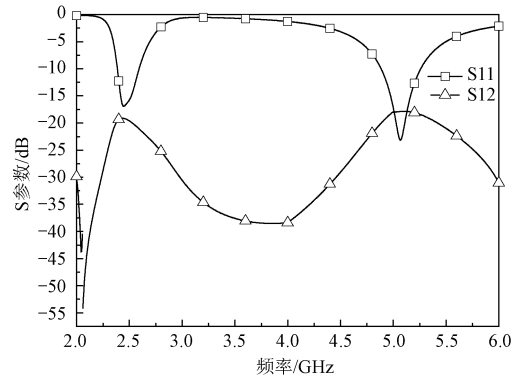


图 12 再增加悬置金属线的 MIMO 天线 S 参数仿真结果

2.3 方向图

图 13 为采取降耦措施后 MIMO 天线方向图的仿真结果。可知,天线在 2.4 GHz 和 5 GHz 处的最大增益分别为 2.04 dBi 和 2.54 dBi,且不圆度均小于 3 dB,同时 yo_z 面的交叉极化也较小。

3 结论

本文设计了一款工作在 2.4 GHz 和 5 GHz 频段的高隔离度双频带 MIMO 天线。天线由两个相同的单元组成,主辐射体为弯折的单极子天线,主要产生高频辐射,反面引入的弯折金属线通过耦合能量产生低频辐射。同时利用在地板开槽和背面悬置金属线的方法,成功增大了 MIMO 天线单元之间的隔离度。仿真结果表明,该天线工作带宽、隔离度、增益、不圆度等参数均满足设计要求。本文提出的天线单元间降耦方法对 MIMO 天线的设计具有一定的参考意义。

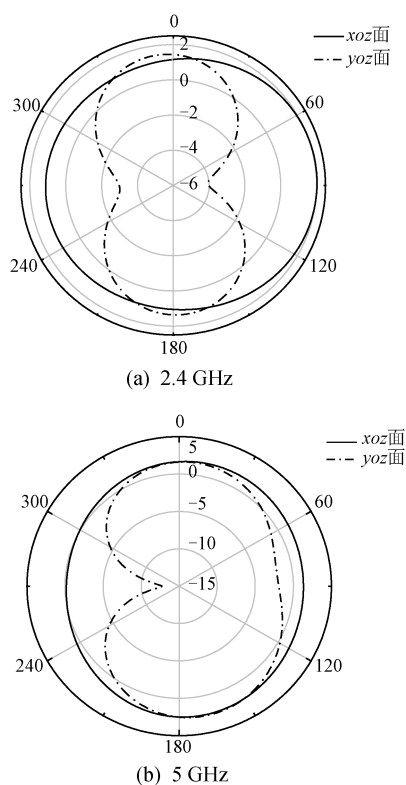


图13 采取降耦措施后MIMO天线方向图

参考文献

[1] XUN J H, SHI L F, LIU W R, et al. Compact dual-band decoupling structure for improving mutual coupling of closely placed PIFAs[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017, 16: 1985-1989.

[2] ABDULLAH M, BAN Y L, KANG K, et al. Compact four-port MIMO antenna system at 3.5GHz [C]// 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference. Piscataway: IEEE, 2017: 656-660.

[3] 韩国瑞, 吴晓丽, 宋睿涛, 等. 基于中和线解耦的小型化MIMO天线设计[J]. 测试技术学报, 2019, 33(5): 434-437.

[4] WANG Y S, CHUNG S J. A short open-end slot antenna with equivalent circuit analysis[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(5): 1771-1775.

[5] 左少丽. 无线终端设备天线及其解耦技术的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

[6] LI J F, CHU Q X, HUANG T G. A compact wideband MIMO antenna with two novel bent slits [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(2): 482-489.

[7] 刘志伟, 结顺利, 吴喜亮, 等. 一种具有双缝隙结构的双频宽带MIMO天线[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018, 16(6): 1048-1053.

[8] 王利红. 一种高隔离度双频MIMO天线[J]. 现代电子技术, 2019, 42(5): 36-39.

[9] 杜成珠, 马天驰, 焦哲晶. 一种高隔离度的双频超宽带MIMO天线设计[J]. 电子元件与材料, 2019, 38(9): 71-76.

[10] 罗超鸣. 高隔离度的小型化MIMO天线研究[D]. 西安: 电子科技大学, 2017.

(上接第17页)

[5] NGUYEN D T, NGUYEN T N, KIM H, et al. A high-throughput and power-efficient FPGA implementation of YOLO CNN for object detection [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2019, 27(8): 1861-1873.

[6] LU L Q, LIANG Y, XIAO Q C, et al. Evaluating fast algorithms for convolutional neural networks on FPGAs [C]// 2017 IEEE 25th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines. [S.l.]: IEEE

Computer Society, 2017: 101-108.

[7] MELONI P, CAPOTONDI A, DERIU G, et al. NEURAghe: exploiting CPU-FPGA synergies for efficient and flexible CNN inference acceleration on Zynq SoCs [J]. ACM Transactions on Reconfigurable Technology and Systems, 2018, 11(3): 1-24.

[8] GYSEL P, MOTAMEDDI M, GHIASI S. Hardware-oriented approximation of convolutional neural networks[EB/OL]. arXiv preprint: 1604.03168-5 (2016-04-11). <https://arxiv.org/abs/1604.03168>.