

文章编号: 2095-4980(2017)01-0094-04

改善隔离度的“V”型结构的超宽带天线设计与实现

任文平, 周 穹, 申东娅, 李 根

(云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091)

摘要: 设计了一款栅栏形式的“V”型结构超宽带多入多出(MIMO)天线, 将对角线上的2个基本天线单元置于介质板的另一侧, 并引入一种栅栏形式“V”型结构的耦合器来降低天线单元间的耦合, 用于改善天线的隔离度。该天线工作频段为3.3~12.02 GHz。经过对回波损耗和隔离度的仿真和测试, 证明该款MIMO天线在不影响超宽带(UWB)天线基本性能的基础上满足了MIMO天线对隔离和分集增益的要求。

关键词: “V”型多入多出天线; 隔离度; 超宽带

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201701.0094

Ultra-Wideband V-shaped antenna design and implementation

REN Wenping, ZHOU Qiong, SHEN Dongya, LI Gen

(School of Information, Yunnan University of China, Kunming Yunnan 650091, China)

Abstract: An Ultra-Wideband(UWB) Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) antenna improving isolation degree is designed and discussed. Two basic antenna units in diagonal layout are located at the other side of dielectric-slab. A kind of V-shaped coupler with the style of fence is introduced to reduce the coupling between antenna units. The working frequency band of the MIMO antenna is from 3.3 GHz to 12.02 GHz. The proposed MIMO antenna meets the requirements on isolation and diversity gain through simulation and testing.

Keywords: V-shaped Multiple-Input Multiple-Output antenna; isolation; Ultra-Wideband

目前, MIMO 天线已经广泛应用于无线通信领域, 设计出小尺寸、高隔离度的 MIMO 天线已经成为天线设计者所追求的目标。天线单元之间的耦合是无法避免的, 去耦合是天线设计中重要的一部分, 去耦合的效果直接影响着 MIMO 天线的隔离度的大小。为了降低天线单元之间的耦合, 一些方法已经被提出并应用于设计中: a) 通过在强耦合天线之间插入一段传输线, 减小天线之间的互耦, 即采用退耦合网络; b) 电磁场带隙(Electromagnetic Band Gap, EBG)结构应用于 MIMO 天线阵列时, 其表面频率带隙特性可以抑制辐射元间的耦合电流, 可以很好地改善天线的隔离特性; c) 在天线的地面开不同结构的槽, 减小表面波引起的耦合^[1-4]。上述方法虽然在一定程度上改善了 MIMO 天线的隔离度, 但是又带来了另外一些问题, 例如采用退耦合网络的方法, 对天线阵列的体积要求比较高, 增加了设计的难度和工作量。地面开槽技术由于对天线的地面结构进行了改变, 其辐射特性受到一定的影响。所以 MIMO 天线去耦合的技术仍然在不断改进和探索中^[5-7]。

本文提出一种采用引入栅栏形式的“V”型结构的耦合器来改善隔离的天线设计方案^[8], 该方案将能提高天线的隔离度, 减小 MIMO 天线的设计尺寸。

1 栅栏形式“V”型MIMO天线结构

本文提出一种采用引入栅栏形式“V”型结构的耦合器来改善隔离的设计方案, 其天线结构和尺寸如图1所示。该 MIMO 天线由4个同嵌入式“U”型金属架结构的 MIMO 天线相同的 UWB 天线单元、1对“V”型结构的耦合器和矩形介质板组成。

收稿日期: 2015-12-02; 修回日期: 2015-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61501398); 云南省科技厅应用基础研究资助项目(2014FB112)

4 个基本天线单元同样互相垂直放置, 利用单元间的正交极化来改善隔离, 但与其不同之处在于图中灰色部分天线单元位于介质板的另外一侧, 这样是为了更好地改善隔离。

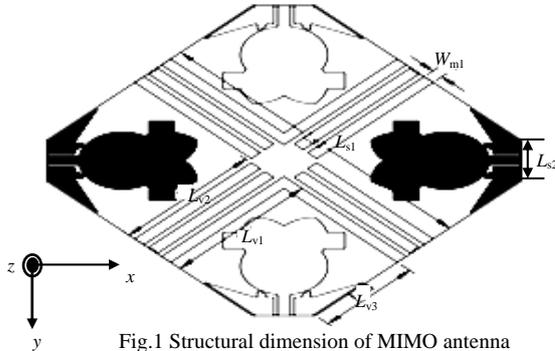


Fig.1 Structural dimension of MIMO antenna
图 1 MIMO 天线结构和尺寸

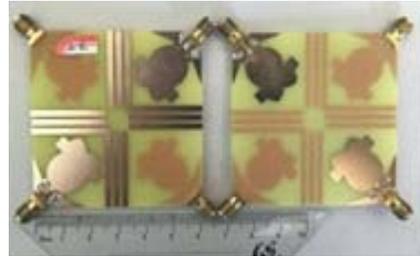


Fig.2 Photo of "V-shaped" MIMO antenna
图 2 "V" 型 MIMO 天线的实物照片

栅栏形式的“U”型结构耦合器, 它是直接印刷于介质板表面的镀金结构, 属于微带线贴片结构。这样的结构相对于“U”型金属架要更为容易实现, 从而降低加工的难度, 同时极大地降低了金属材料的使用量, 大大降低了天线制作成本。该“V”型结构耦合器的引入同样能明显提高天线的隔离性能, 具体改善情况将在下文中详细介绍。

该 MIMO 天线采用的同样是常见的介电常数为 4.6, 厚度为 $d=0.8\text{ mm}$ 的 FR4 介质板, 介质板的尺寸为 $60\text{ mm}\times 60\text{ mm}$ 。MIMO 天线结构的主要参数经过 HFSS 仿真软件优化后, 最终优化值如下: $L_{s1}=60\text{ mm}$, $L_{s2}=10\text{ mm}$, $L_{v1}=27.29\text{ mm}$, $L_{v2}=26\text{ mm}$, $L_{v3}=18.22\text{ mm}$, $W_{m1}=2\text{ mm}$, 设计的 MIMO 天线的加工实物图如图 2 所示。

2 栅栏形式“V”型MIMO天线性能分析

2.1 栅栏形式“V”型MIMO天线的回波损耗与隔离性能

该 MIMO 天线的结构是借助 HFSS 仿真软件模拟优化的, 其回波损耗的仿真结果如图 3 所示。由于该 MIMO 天线沿 XOZ 对称, 所以 S_{11} 和 S_{33} 相同, S_{22} 和 S_{44} 相同。由图 3 可知, $S_{11}(S_{33})\leq -10\text{ dB}$ 的频带为: $3.33\sim 12.02\text{ GHz}$; $S_{22}(S_{44})\leq -10\text{ dB}$ 的频带为: $3.13\sim 12.34\text{ GHz}$ 。由此可见其工作带宽基本和方案一所提 MIMO 天线一致, 完全能够满足 UWB 天线对频率的要求。但美中不足的是在 $6.27\sim 8.05\text{ GHz}$ 频带范围内, S_{11} 和 S_{33} 的值略高于 -10 dB , 产生这种结果的原因是“V”型耦合器的引入对天线单元 1 和 3 造成了某种程度的干扰, 但这种干扰在可控范围内。

MIMO 天线的隔离性能如图 4 所示, 由于该 MIMO 天线沿 XOZ 对称, 所以 $S_{21}, S_{32}, S_{43}, S_{41}$ 具有相同值, S_{31} 和 S_{32} 则不相同。由图 4 可知, 在 $3.13\sim 2.34\text{ GHz}$ 的工作频段内, 相邻两天线单元的隔离度($S_{21}, S_{32}, S_{43}, S_{41}$)在 -15 dB 以下, 而位于对角线上的 2 个天线的隔离度(S_{31}, S_{42})基本上位于 -20 dB 以下, 综上所述, 该天线具有很好的隔离性能。

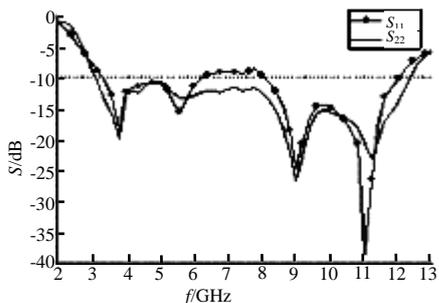


Fig.3 Simulation for return loss of MIMO antenna
图 3 MIMO 天线回波损耗仿真

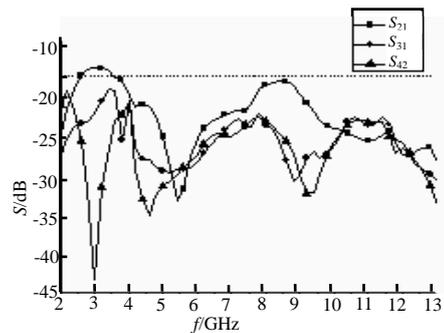
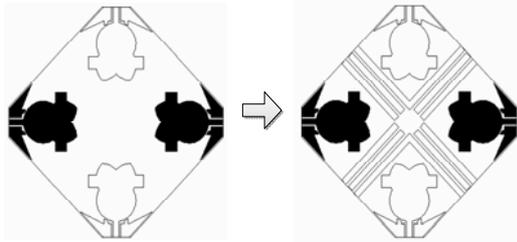


Fig.4 Simulation for isolation of MIMO antenna
图 4 MIMO 天线的隔离性能仿真

2.2 无栅栏形式的“V”型MIMO天线性能对比

有无“V”型结构耦合器的 2 款 MIMO 天线的结构图如图 5 所示。这 2 款 MIMO 天线的回波损耗 $S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}$ 对比如图 6 所示。由图 6 可知天线 A 和 B 的回波损耗在中间频段部分有所不同，可见“V”型耦合器的引入对基本天线的 $S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}$ 还是造成了一定干扰，但干扰处于可控范围，对 MIMO 天线整体性能影响不是很大。



antenna A: no “V-shaped” coupler; antenna B: “V-shaped” coupler
Fig.5 Structure diagrams of antenna A and antenna B
图 5 天线 A 和 B 的 MIMO 结构图

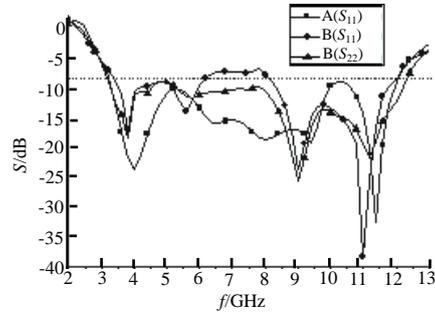
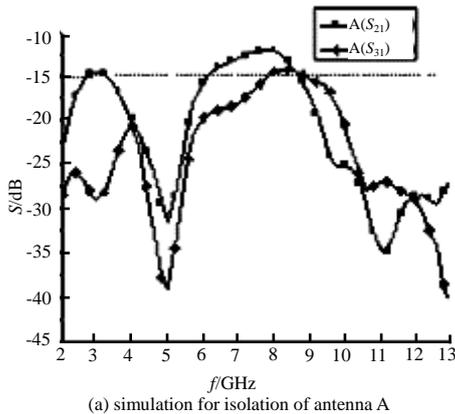
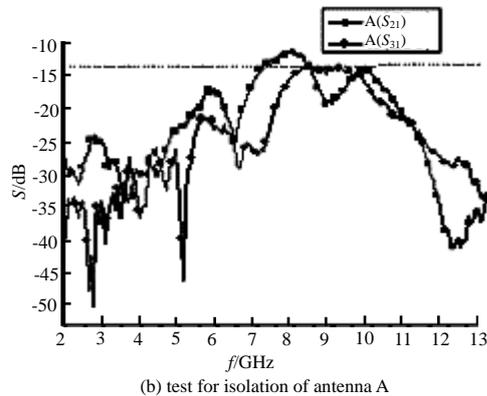


Fig.6 Simulation for return loss of antenna A and antenna B
图 6 天线 A 和 B 的回波损耗仿真

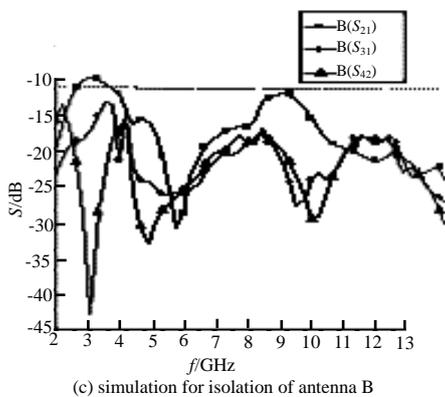
天线 A, B 的隔离性能的仿真和测试对比图如图 7 所示。由图 7 可知天线 B 的隔离度明显高于天线 A。与未引入“V”型耦合器的天线 A 相比，天线 B 的 $S_{21}, S_{32}, S_{43}, S_{41}$ 从 -12 dB 下降到 -15.5 dB 以下， S_{31} 从 -14.2 dB 下降到了 -17 dB 以下， S_{42} 从 -14.29 dB 下降到 -18.4 dB 以下。在 $4\sim 12$ GHz 间， S_{31} 和 S_{42} 更是降到了 -20 dB 以下。综上所述，“V”型耦合器的引入，使该 MIMO 天线的隔离性能改善很多。



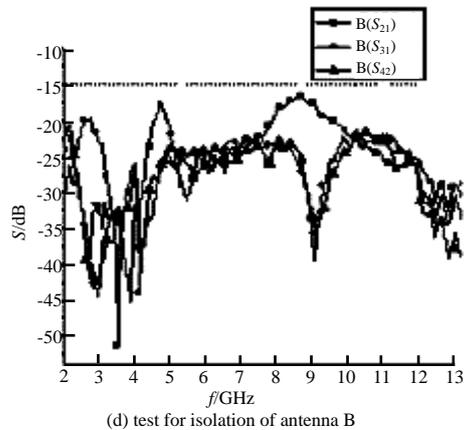
(a) simulation for isolation of antenna A



(b) test for isolation of antenna A



(c) simulation for isolation of antenna B



(d) test for isolation of antenna B

Fig.7 Comparison of simulation and test between antenna A and antenna B
图 7 天线 A 和 B 隔离性仿真和测试对比图

2.3 栅栏形式的“V”型MIMO天线的辐射特性

当端口 1,2,3,4 分别单独激励，天线 B 工作在 5 GHz 时，分别在 XOY, XOZ, YOZ 面上的辐射方向图如图 8 所

示。由图可知,当 4 个端口分别激励时,天线方向图的主辐射方向沿着不同的角度辐射,具有较好的互补性,由此可见,该 MIMO 天线具有很好的角度分集增益特性,是一款很好的分集增益 MIMO 天线。

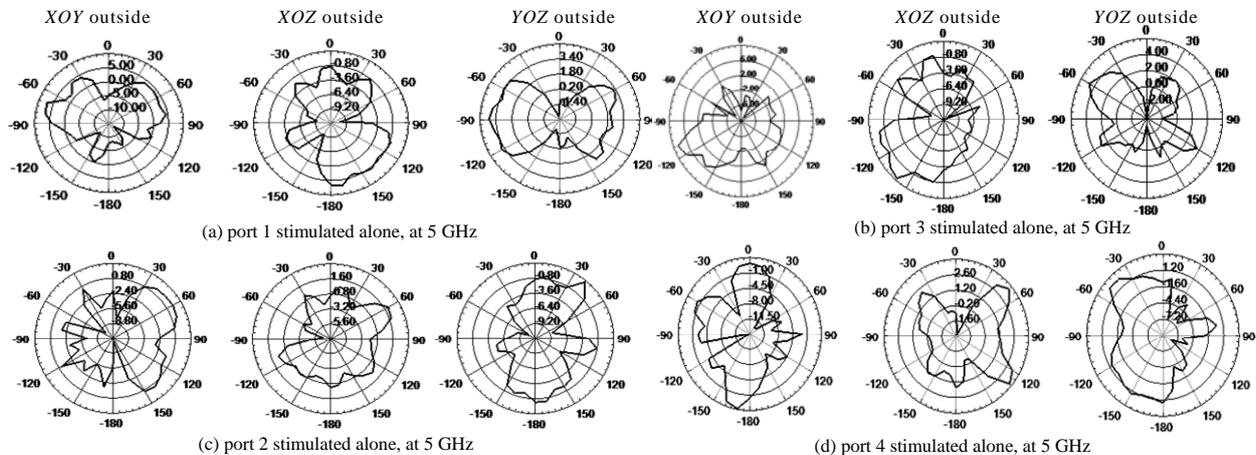


Fig.8 Pattern of “V-shaped” MIMO antenna

图 8 “V”型结构 MIMO 天线方向图

3 结论

本文提出一种采用引入栅栏形式的“V”型结构的耦合器来改善隔离的设计方案,经过对这款天线回波损耗和隔离性能的仿真和测试,对辐射特性的分析,可以看出该款天线在不增加天线剖面尺寸的同时很好地实现了隔离性能和角度分集增益特性,满足了 MIMO 天线对隔离和分集增益的要求。

参考文献:

- [1] YUAN D,DU Z,GONG K,et al. A novel dual-band printed diversity antenna for mobile terminals[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007,55(7):2088–2096.
- [2] YUAN D,DU Z,GONG K,et al. A four-element antenna system for mobile phones[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007(6):655–658.
- [3] SHEN D,GUO T,KUANG F,et al. A novel wideband printed diversity antenna for mobile handsets[C]// Vehicular Technology Conference(VTC Spring). [S.l.]:IEEE Xplore, 2012:1–5.
- [4] CAI Y,GUO Y J. A frequency-agile compact array with a reconfigurable decoupling and matching network[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011,10(7):1031–1034.
- [5] ALBANNAY M M,COETZEE J C,TANG X,et al. Dual-frequency decoupling for two distinct antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012,11(6):1315–1318.
- [6] WU C H,ZHOU G T,WU Y L,et al. Stub-loaded reactive decoupling network for two-element array using even-odd analysis[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013,12(2):452–455.
- [7] ZHAO L,YEUNG L K,WU K L. A coupled resonator decoupling network for two-element compact antenna arrays in mobile terminals[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2014,62(5):2767–2776.
- [8] 周添,岳艳涛,徐冠雄,等. 超宽频带通信传输中的天线优化设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015,13(2):76–79. (ZHOU Tian,YUE Yantao,XU Guanxiong,et al. Antenna optimization in the application of ultra-wideband communication[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015,13(2):76–79.)

作者简介:



任文平(1967–),女,山东省日照市人,副教授,主要研究方向为基于 FPGA 的信号处理、信号传播、天线设计。email:rwp3053@sina.com.

周穹(1989–),男,长沙市人,硕士,主要研究方向为天线设计。

申东娅(1964–),女,昆明市人,硕士,教授,主要研究方向为无线通信。

李根(1989–),男,山东省枣庄市人,硕士,主要研究方向为天线设计。