

文章编号:1007-5321(2019)03-0051-07

DOI:10.13190/j.jbupt.2018-245

一种非对称馈电的小型化高隔离度分集天线

杨洋, 刘元安, 吴帆

(北京邮电大学 电子工程学院, 北京 100876)

摘要: 提出一种基于非对称共面带(ACS)馈电的高隔离度小型化分集天线结构. 使用ACS作为天线馈电结构可使天线体积减小约50%. 引入地板延伸枝节作为去耦合结构,使天线间端口隔离度大于15 dB,其中最高隔离度达到30 dB. 实验结果表明,该分集天线可满足2.4/5.2 GHz WLAN和2.6/3.5 GHz LTE的通信需求.

关键词: 分集天线; 去耦合; 非对称共面带; 小型化; 高隔离

中图分类号: TN828.6

文献标志码: A

An Asymmetric Feed Compact High Isolation Diversity Antenna

YANG Yang, LIU Yuan-an, WU Fan

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A high isolation compact diversity antenna structure based on asymmetric coplanar band (ACS) feed is proposed. Use of ACS as the antenna feed structure reduces the antenna volume by about 50%; by introducing the floor extension branch as a decoupling structure, the high antenna port isolation is achieved to 15 dB and is highest to 30 dB. It is shown that the diversity antenna can satisfy the 2.4/5.2 GHz WLAN, 2.6/3.5 GHz LTE communication requirements.

Key words: diversity antenna; decoupling; asymmetric coplanar band; compact; high isolation

多输入多输出(MIMO, multiple-input multiple-output)技术利用多个收发天线同时通信可以大幅提高信道容量和通信速率,是当前和下一代移动通信技术中的核心技术. 在移动终端应用MIMO天线技术时,需要在移动终端设备上集成多个天线单元,同时由于需要满足移动手持终端的体积限制和对多种通信系统支持的要求,对移动终端多天线的多频段、小型化和降低天线间互耦的研究成为近年来的热点. 很多研究者提出了多种改善天线馈电结构以及增加天线谐振结构^[1-6]的方法,使天线设计能够适用于多种通信系统.

提出一种基于双面双线带结构的单元,采用非对称共面带(ACS, asymmetric coplanar strip)结

构馈电的具有地面枝节去耦合结构的高隔离度分集天线. 相较于Sethi等^[7-10]采用高成本的高介电常数低温共烧陶瓷(LTCC, low temperature co-fired ceramic)的小型化方法,笔者提出了用弯折辐射枝节的方式进行天线辐射体的小型化设计,采用了更为低廉的基于FR-4的材料. 利用ACS馈电结构,相比于传统共面波导(CPW, co-planar waveguide)馈电结构的单元设计^[11-12],可减小馈电结构所占用的天线体积. 此外,在降低多个天线单元间的互相干扰方面,与Tseng等^[13-14]的空间分集与寄生单元去耦合设计相比,所提出的基于对称加载地板枝节去耦合的结构,不仅在单一频点上,而且能够同时在多个谐振频段上提高天线间的隔离度,降低天线相关性,提

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(61821001, 61272518); 广东省扬帆计划项目; 安全生产智能监控北京市重点实验室项目

作者简介: 杨洋(1987—), 男, 博士生, E-mail: yangyang@bupt.edu.cn; 刘元安(1963—), 男, 教授, 博士生导师.

升 MIMO 性能. 能够满足 WLAN、LTE 和 5G 多种通信系统的通信要求, 同时该天线具有良好的辐射特性, 具有较高的应用价值.

1 天线设计

1.1 小型化天线技术的优化

移动通信终端天线的小型化、内置化要求天线在设计时必须尽量降低天线轮廓, 因此手机多采用相对于原始单极子天线更加低矮的倒 L 型天线 (ILA, inverted L antenna) 或者倒 F 型天线 (IFA, inverted F antenna). 由于典型的 ILA 和 IFA 天线都需要垂直于地面, 且辐射体与地板之间必须留有净空区, 所以设计和加工时存在诸多限制. 因此, 为了进一步降低天线的体积和设计加工难度, 更多的时候采用平面天线的形式, 也就是平面倒 L 天线 (PILA, planar inverted-l antenna) 和平面倒 F 天线 (PIFA, planar inverted-f antenna).

为了进一步降低天线高度并扩展天线谐振频带, 通常还会使用加载弯折谐振条的方式调谐天线, 保证天线在一个低矮轮廓下同时具备在低频段时的良好阻抗特性以及天线紧凑结构和小型化, 提高天线的空间利用率^[15]. 图 1 展示了弯折辐射枝节的基本结构, 在图 1(a) 中弯折辐射枝节相互靠近, 辐射枝节之间将产生显著的相互耦合作用, 可以在低频段形成强烈的谐振. 当弯折枝节相互远离时 (见图 1(b)), 天线将会在高温部分形成激励, 产生新的谐振频点. 可见弯曲辐射枝节技术对天线的小型化和降低天线高度有效且实用. 笔者设计的天线也采用了这样的思路.

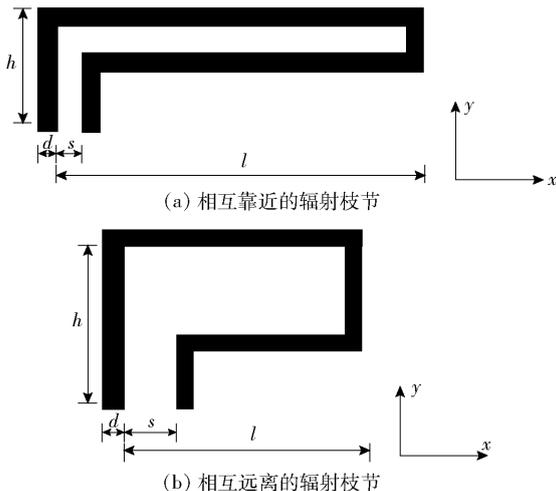


图 1 弯曲辐射枝节的基本形式

CPW 结构是一种性能较好的馈电结构, 通过对 CPW 馈电结构的进一步分析可以发现, CPW 馈电结构是对称结构, 因此馈线两边的地面结构占据整个天线相当大的面积. 为了尽量减少整体天线的尺寸, 引入 ACS 结构, 以减小馈电结构的地面面积 (如图 2 所示), 将 CPW 对称地板的一半截去. 通过这样处理后, 天线的尺寸约为 CPW 天线尺寸的一半^[16].

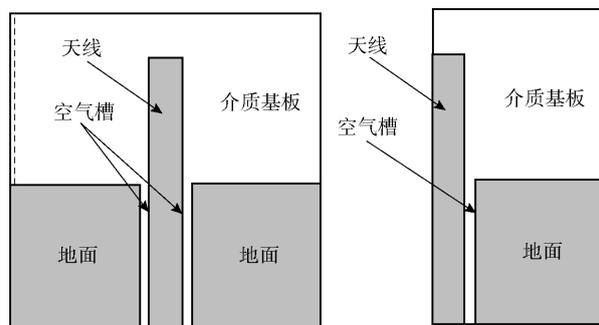


图 2 CPW 结构和 ACS 结构对比图

为了更好地对天线阻抗性能进行调谐, 使用了双面双线带结构. 这种结构是一种新型的平行传输线结构, 由介质板上下金属条的叠层而构成. 双面双线带比共面传输线更容易实现低特征阻抗, 这一特性使其非常适用于微波器件的设计. 目前, 在移动终端天线的设计中, 双面双线结构得到了逐步的应用. 双面双线带结构的传输线剖面如图 3 所示. 双面双线带结构金属片上的感应电流具有相位相反的特性, 因此双线带之间的电磁耦合可以改善阻抗匹配, 使天线各个谐振频点的阻抗更容易达到调谐.

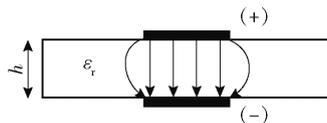


图 3 双面双线带结构的传输线剖面图

1.2 小型化高隔离分集天线的结构设计

提出的分集天线在厚度为 1.6 mm 的 FR-4 基材上制作, 材料相对介电常数为 $\epsilon_r = 4.4$, 损耗角正切 $\tan\delta = 0.02$, 天线整体尺寸为 (60×40) mm. 天线的设计思路是: 天线单元使用弯折的倒 L 结构可降低天线高度, 同时利用 ACS 结构馈电大幅度降低了天线馈电的地板面积. 此外, 利用双面双线带正反两面对称的金属条之间的电磁耦合, 让背面的双线带不仅仅用于改善阻抗匹配, 还可参与天线辐射, 从而进一步拓展天线带宽.

天线的整体结构如图 4 和图 5 所示. 为了进一步降低天线间的互相耦合, 在设计中充分利用天线单元间介质板面积, 从地板延伸的倒 C 型金属枝节作为隔离单元, 以降低天线间的互耦, 提高天线端口隔离度. 其原理是, 利用 a_5 段靠近辐射枝节 a_5 , 通过 a_5 和 a_4 的耦合获得与 a_4 同方向的电流. 在没有地面耦合结构的原始设计中, 地面上有天线端口间的漏电流存在. 笔者利用从地板中央延伸出的弯折枝节, 将这股漏电流引导到 C 型枝节上. 这样, a_5 获得的感应电流就与从地面引导的漏电流具有了相反的方向, 从而相互抵消, 达到降低天线互耦, 提高天线隔离度的目的. 通过 CST MWS 软件对天线进行仿真优化得到最终的天线尺寸参数, 如表 1 所示.

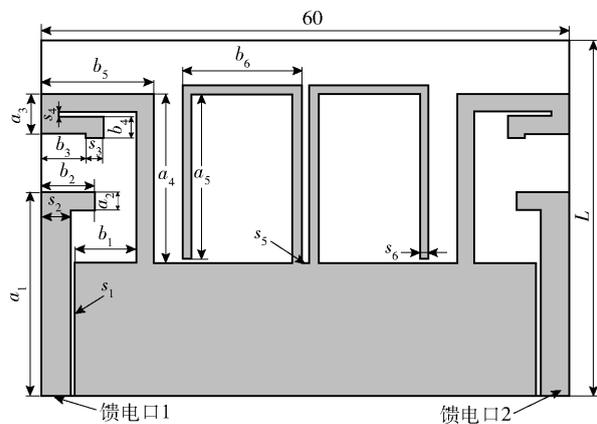


图 4 天线正面结构图

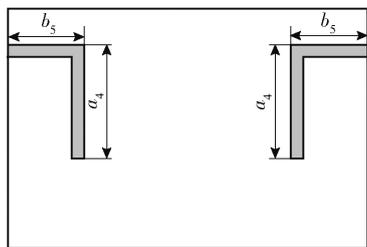


图 5 天线背面结构图

表 1 天线结构尺寸 mm

L	s_1	a_1	b_1	a_2	b_2	s_2	s_3	b_3
40	0.5	23	7	2	6	3.25	2	5
s_4	b_4	a_3	b_5	a_4	a_5	b_6	s_5	s_6
0.5	2.5	4.5	12.75	19	18.5	13.6	0.8	1

2 天线仿真与性能分析

2.1 天线结构参数分析

分析不同隔离结构的尺寸参数对天线 S 参数的

影响, 可以进一步了解和优化天线性能. 从图 4 可以看到, 通过调整 b_6 的值可以调节隔离结构到天线辐射枝节的距离, 进而调整天线和隔离结构耦合的紧密度. 从图 6 可观察到, b_6 离天线的辐射枝节越近, 天线的隔离性能就会越好. 这是由于隔离结构中天线辐射枝节耦合的感应电流随着距离的减小而增强.

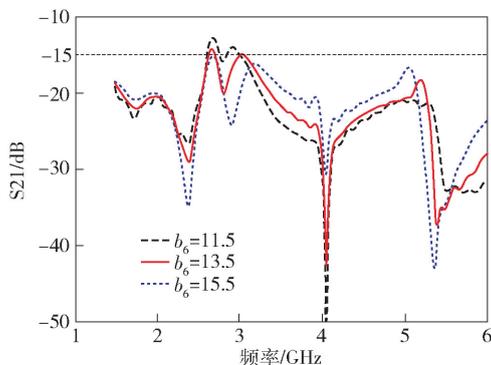


图 6 不同的 b_6 取值对 S21 参数的影响

对于天线的反射系数而言, 从图 7 所示的随 b_6 变化的回波损耗曲线可以发现, 当 b_6 的值增大时天线的低频阻抗带宽会有所增加, 但是在高频段谐振点的阻抗匹配会更快劣化, 导致带宽减小. 因此, 需要在天线的阻抗带宽和降低天线互耦之间取得平衡.

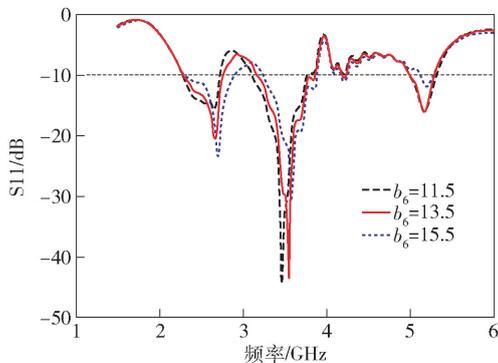


图 7 不同的 b_6 对 S11 参数的影响

2.2 天线端口隔离特性分析

图 8 给出了隔离结构对天线 S11 参数和 S21 参数的影响. 从图 8(a) 中可以看出, 隔离结构的添加对于天线的阻抗匹配产生了一些影响. 首先, 从回波损耗来看, 天线的回波损耗整体没有受到影响, 地板枝节的加入改善了阻抗频带的阻抗匹配, 在通频带内回波损耗得到较大程度降低. 从图 8(b) 天线间隔离度来看, 天线间的隔离度得到了改善, 几乎在

所有谐振频带上 S_{21} 参数达到了小于 -15 dB 的指标。值得注意的是,在 3.5 GHz 的谐振频率上天线的隔离度从原先的 13 dB 提升到 24 dB,隔离度提高了 11 dB.

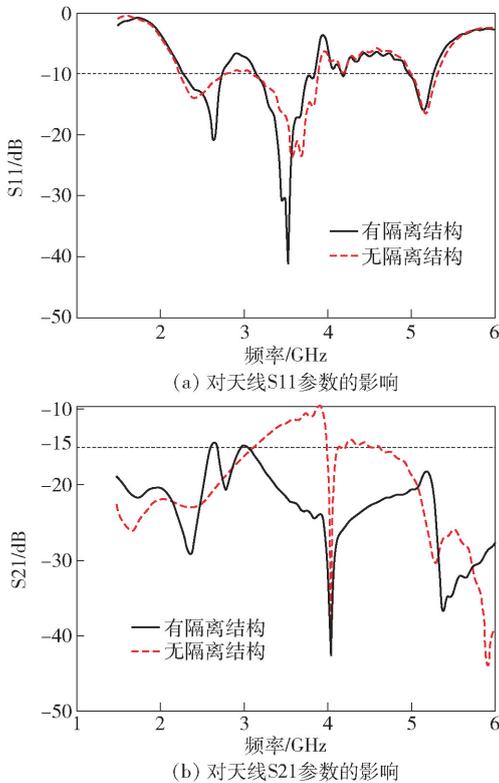


图 8 隔离结构对天线 S 参数的影响

图 9 给出了隔离结构对天线表面电流的影响。通过对比可以观察到,在没有隔离结构的情况下(见图 9(a)),当天线单元 1 被激励工作时,天线单元 2 的枝节顶部也存在一定强度的感应电流,说明天线单元 1 和天线单元 2 之间存在一定程度的互耦。当增加了隔离枝节后(见图 9(b)),天线间通过地面流动的漏电流向倒 C 形枝节。同时,倒 C 形枝节靠近天线的部分依靠近距离耦合产生了与天线表面方向一致的感应电流。地面的漏电流和倒 C 形枝节耦合产生的感应电流同时存在于隔离结构上,且方向相反,这样两股电流相互抵消,就减小了天线单元间的耦合,达到了去耦的目的。可以看出,增加隔离结构之后,右侧天线的感应电流强度较未加隔离结构时有较大幅度下降,印证了天线设计的思路。

图 10 给出了高隔离分集天线的包络相关系数 (ECC, envelope correlation coefficient) 随频率的变化。由图可见,天线间的包络相关系数在所有期望频率上都低于 0.05 ,远小于 MIMO 移动终端天线要

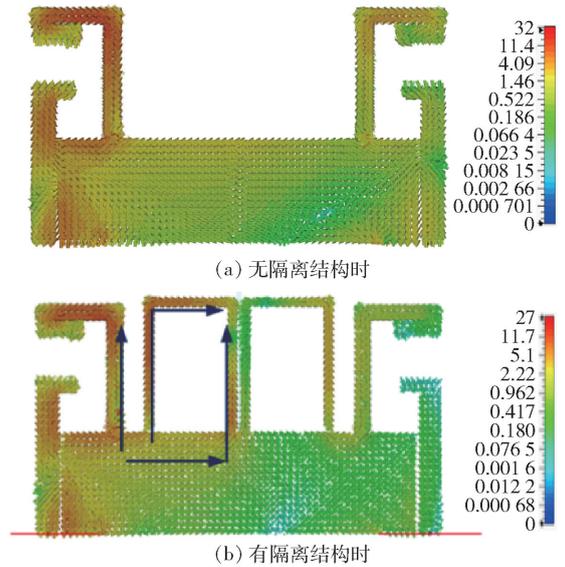


图 9 隔离结构对天线表面电流的影响

求的 0.2 ,说明天线间的耦合度很低,可以视为相互独立。

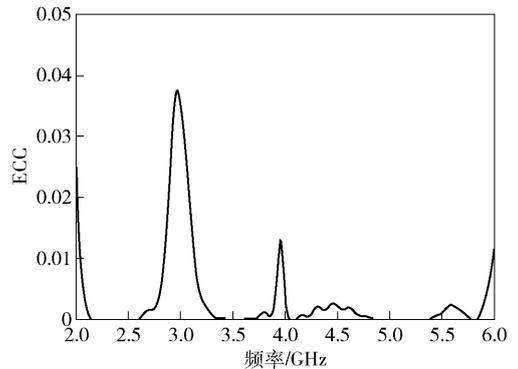


图 10 从 S 参数计算得出的 ECC

2.3 天线辐射特性分析

图 11 给出了天线端口 1 被激励,端口 2 接 50Ω 负载时,在各个频率下的仿真辐射方向。可见由于天线的对称性,天线在 XoZ 平面大致呈全向性,在 YoZ 平面呈类似偶极子的辐射方向图。天线在 2.4 GHz、 3.5 GHz 和 5.2 GHz 下的效率分别为 62.6% 、 74.6% 、 75% ,天线增益分别为 -1.4 dBi、 2.76 dBi、 3.95 dBi.

3 天线制作与测试

天线经过 CST MWS 的仿真和优化,经过 PCB 加工并且为天线装配 SMA 连接器后,完成了天线的实物制作,实物图如图 12 所示。使用安捷伦 N5230C 矢量网络分析仪对高隔离度分天线的匹配特性进行了实测,仿真曲线由 CST MWS 时域仿真

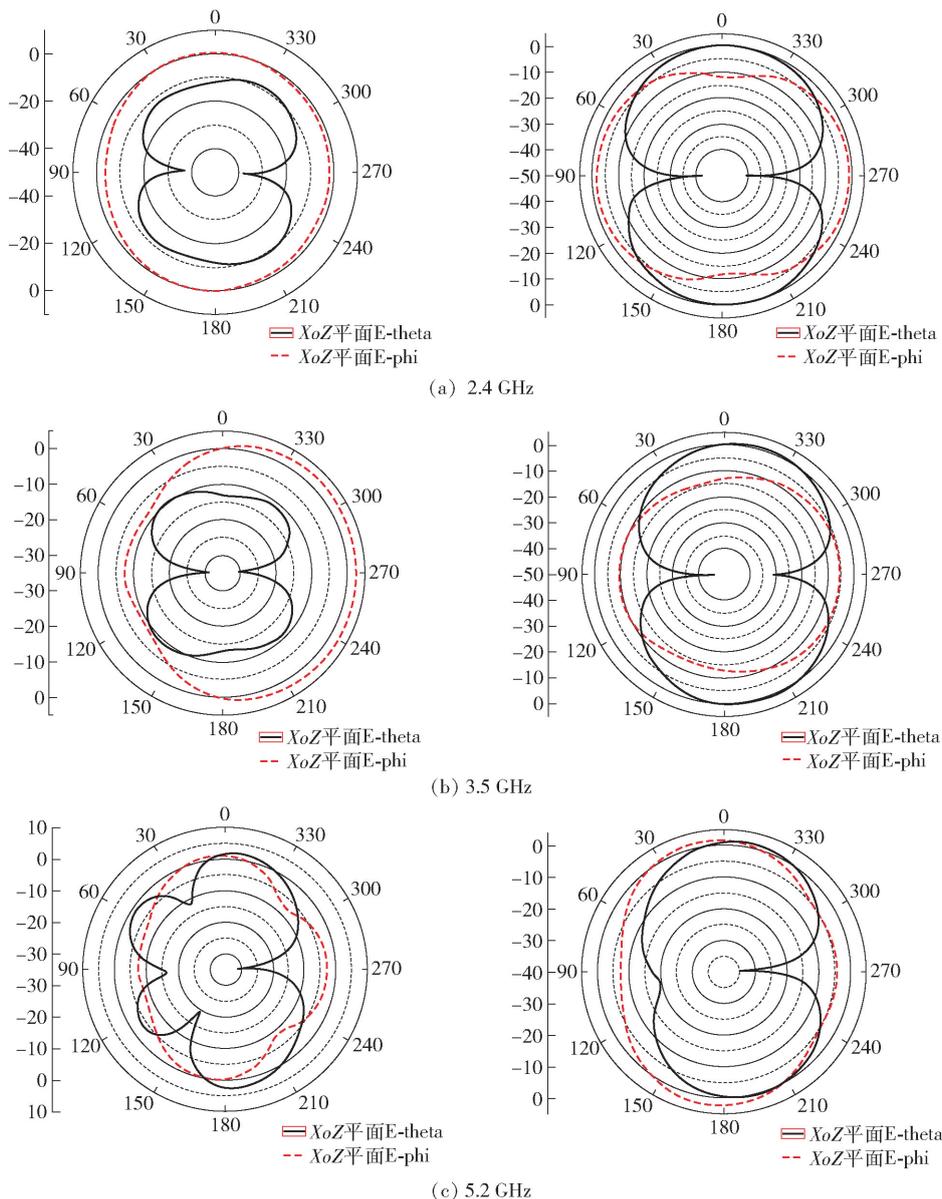


图 11 天线在不同频段下的辐射方向图

器得出。

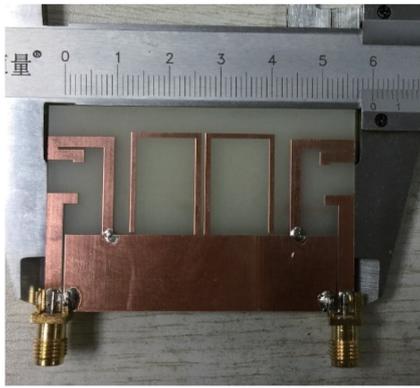
图 13 给出了反射系数的实测值与仿真值。可以看出,实测天线的反射系数和仿真值之间大致一致,但是整体频率向高频有偏移,尤其在高频段部分发生偏移量较大。分析原因主要是在加工失误将天线正反面通过金属化通孔联通,通过手工方式断开前后金属的连接之后,背面金属条的尺寸变短,同时金属化过孔的存在,导致天线寄生参数的改变。寄生参数的改变导致天线谐振向高频偏移,而原本高频段的的天线谐振改变更为明显。天线工作频率为 2.28 ~ 2.75 GHz, 3.15 ~ 3.85 GHz 以及 4.98 ~ 5.3 GHz,可以满足 WLAN、LTE、WiMAX 等多种通信系

统的工作要求。

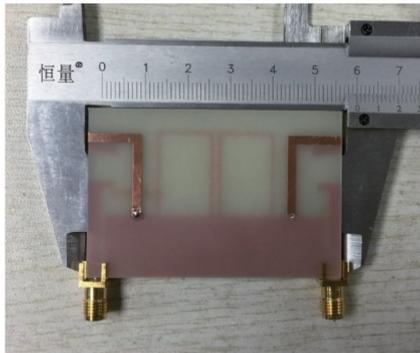
从图 14 中传输系数曲线可以看出,实测天线端口间的隔离度和仿真值比较一致, S21 小于 -15 dB, 天线间互耦程度低,天线的独立性较好。

4 结束语

结合基于弯折枝节和 ACS 非对称馈电结构对普通的单极子天线进行了小型化设计,利用双面双线带对天线进行阻抗优化,提出了一种地面对称弯折枝节的去耦合方案。通过优化参数设计和实物制作,实现并验证了一种新型的高隔离度小型化分集天线。该天线具有 2.4、3.5、5.2 GHz 3 个



(a) 正面



(b) 背面

图12 天线实物图

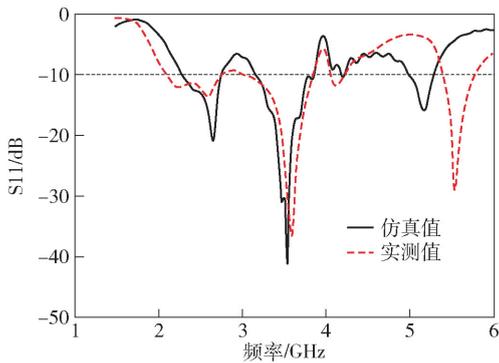


图13 仿真和实测的S11参数

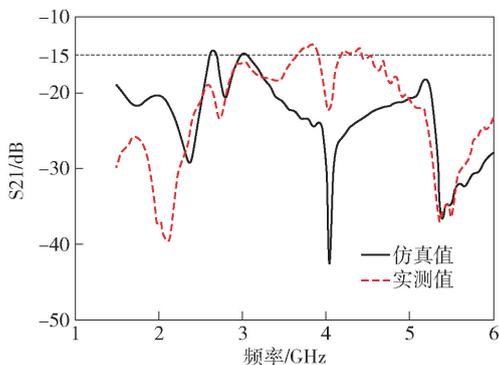


图14 仿真和实测的S21参数

工作频段,天线辐射良好,天线单元耦合度低,能够满足LTE、WLAN、5G等多种主流通信系统的要求,具有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] Sun X L, Liu L, Cheung W S W, et al. Dual-band antenna with compact radiator for 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN applications [J]. *Antennas and Propagation, Chicago: IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, 60(12): 5924-5931.
- [2] Ma J, Yin Y Z, Hu W, et al. Compact planar hexa-band inverted-F antenna for mobile phone application [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2011, 53(6): 1233-1236.
- [3] Hong Y, Lee J, Choi J. Design of a multi-band antenna for 4G wireless systems [C] // *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*. Netherlands: IEEE, 2014: 597-600.
- [4] Srivastava G, Mohan A. Compact MIMO slot antenna for UWB applications [J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2016(15): 1057-1060.
- [5] Pan Guoqing, Li Yue, Zhang Zhijun, et al. A compact wideband slot-loop hybrid antenna with a monopole feed [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(7): 3864-3868.
- [6] Das S, Chowdhury P, Biswas A, et al. Analysis of a miniaturized multi-resonant wideband slotted microstrip antenna with modified ground plane [J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2015(14): 60-63.
- [7] Sethi W T, Ashraf M, Alshebeili S, et al. Design of dual polarized hybrid LTCC antenna for UWB RFID applications [C] // *2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*. Ras Al Khaimah: IEEE, 2016: 1-4.
- [8] Yang Wanchen, Wang Huifang, Che Wenquan, et al. High-gain and low-loss millimeter-wave LTCC antenna array using artificial magnetic conductor structure [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2015, 63(1): 390-395.
- [9] Cao Baoling, Wang Hao, Wang Yan, et al. W-band high-gain LTCC antenna array with LWG feeding network [C] // *2014 Asia-Pacific Microwave Conference*. Sendai: IEEE, 2014: 354-356.
- [10] Chakraborty U, Kundu A, Chowdhury S K, et al. Compact dual-band microstrip antenna for IEEE 802.11a WLAN application [J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2014(13): 407-410.

- [11] Wang Ping, Cui Can. Small-size CPW-fed Quasi-Yagi antenna with round-ended bow-tie CPW-to-slotline transition[C]//2016 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT). Taipei: IEEE, 2016: 1-3.
- [12] Ahmed M I, Ahmed M F, Shaalan A A. CPW ring wearable antenna on leather material for BAN applications[C]//2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. San Diego: IEEE, 2017: 589-590.
- [13] Tseng H K, Hsu P. A dual planar inverted-F antenna with isolation enhancement for wireless USB dongle[C]//2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC). Seoul: IEEE, 2013: 426-428.
- [14] Singh H S, Pandey G K, Bharti P K, et al. A compact dual band MIMO/diversity antenna for WLAN applications[C]//2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES). Allahabad: IEEE, 2013: 1-5
- [15] Kim G, Hyun T Y. Small wideband monopole antenna with a distributed inductive strip for LTE/GSM/UMTS [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015(14): 1677-1680.
- [16] Hu Wei, Wu Jianjun, Zheng Shufeng, et al. Compact ACS-Fed printed antenna using dual edge resonators for tri-band operation [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016(15): 207-210.