

一种新型双频宽带八单元 5G 手机天线设计

穆伟东¹, 杨 明², 王仲根¹, 李明忠¹, 王 攀¹, 张家正¹

1. 安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001

2. 皖西学院 电子信息工程学院, 安徽 六安 237012

摘 要:针对无线通信设备对 MIMO 天线多频段, 结构简单和高隔离度的要求, 研究提出了一款用于 5G 手机的新型双频宽带八单元多输入多输出(MIMO)天线; 天线基板采用 FR4 材质, 整体尺寸为 150 mm×75 mm×0.4 mm; 天线“U”型辐射单元加载在基板的一面, 尺寸仅为 10 mm×3.6 mm, 每个单元被馈源分为两个部分, 分别产生 3.5 GHz 和 4.9 GHz 两种谐振模式; 同时, 在金属板的一面, 通过刻蚀矩形槽的方式, 改变电流有效路径和阻断单元间的电流传输, 以增加工作频带带宽和减弱单元间的耦合程度; 仿真和实测结果表明: 当 S11 小于 -6 dB 时可以覆盖 3.3~3.6 GHz 和 4.8~5.1 GHz, 天线单元间隔离度优于 13.6 dB, 辐射效率达到 67% 以上。与传统天线相比, 天线在结构, 带宽, 隔离度等方面具有优势, 具有良好的应用前景。

关键词:5G; 双频段; MIMO 天线; 隔离度

中图分类号: TN822 文献标识码: A doi: 10.16055/j.issn.1672-058X.2023.0001.005

A Novel Design of Dual-band Broadband Eight-element Antenna for 5G Mobile Phones

MU Weidong¹, YANG Ming², WANG Zhonggen¹, LI Mingzhong¹, WANG Pan¹, ZHANG Jiazheng¹

1. School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Anhui Huainan 232001, China

2. Department of Electronics and Information Engineering, West Anhui University, Anhui Lu'an 237012, China

Abstract: According to the requirements of wireless communication equipment for MIMO antennas with multi-band, simple structure and high isolation, a new dual-band broadband eight-element multiple input multiple output (MIMO) antenna for 5G mobile phones is proposed. The antenna substrate was made of FR4 and the overall size was 150 mm × 75 mm × 0.4 mm. The “U-shaped” radiating element of the antenna was loaded on one side of FR4, and the size was only 10 mm × 3.6 mm. Each element was divided into two parts by the feed source, producing two resonant modes of 3.5 GHz and 4.9 GHz, respectively. At the same time, on one side of the metal plate, the effective paths of the current were changed and the current transmission between elements was blocked by etching the rectangular slots, so as to increase the working frequency bandwidth and weaken the coupling degree between elements. Simulation and measured results showed that when S11 was less than -6dB, the antenna could cover 3.3 GHz-3.6 GHz and 4.8 GHz-5.1 GHz. The isolation among antenna elements was better than 13.6 dB, and the radiation efficiency was above 67%. Compared with the traditional antennas, this antenna has advantages in structure, bandwidth and isolation, and has a good application prospect.

Keywords: 5G; dual-band; MIMO antenna; isolation

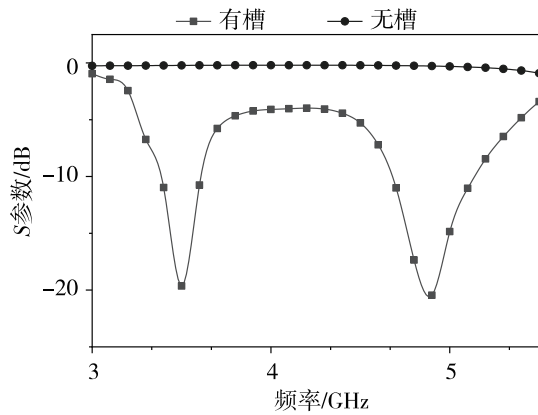
收稿日期: 2021-11-10 修回日期: 2022-01-11 文章编号: 1672-058X(2023)01-0028-06

基金项目: 安徽高校自然科学重点项目(KJ2020A307, KJ2020A0768); 安徽省自然科学基金(2108085MF200, 1808085MF166); 安徽理工大学研究生创新基金(2021CX2070)。

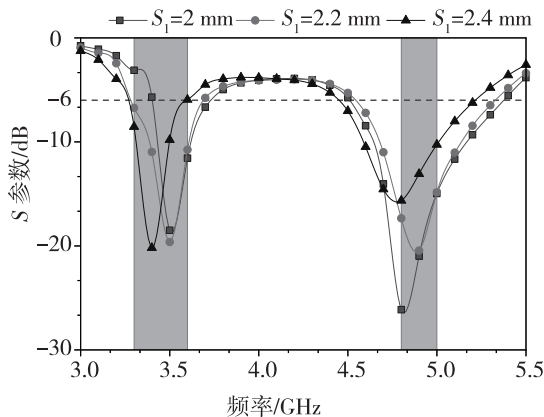
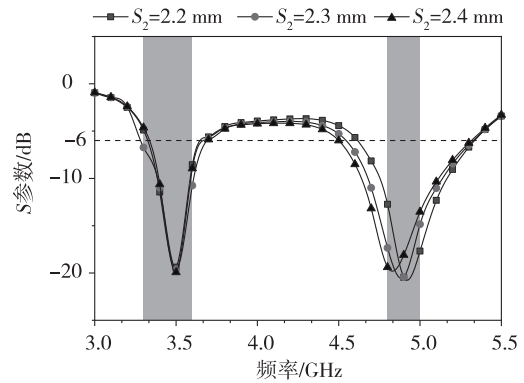
作者简介: 穆伟东(1998—), 男, 安徽阜南人, 硕士研究生, 从事天线理论与天线设计研究。

引用格式: 穆伟东, 杨明, 王仲根, 等. 一种新型双频宽带八单元 5G 手机天线设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2023, 40(1): 28—33.

MU Weidong, YANG Ming, WANG Zhonggen, et al. A novel design of dual-band broadband eight-element antenna for 5G mobile phones[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2023, 40(1): 28—33.

图 2 有无槽时的 S 参数Fig. 2 S -parameter with or without slots

刻蚀的槽 1 和槽 2 分别刻蚀在 3.5 GHz 和 4.9 GHz 辐射单元下,使两种辐射模式相对独立。槽 1 与槽 2 对天线单元性能有着重要的作用,槽 1 的和槽 2 的宽度又是影响天线单元反射系数的重要参数。以下主要对槽 1 宽度 S_1 和槽 2 宽度 S_2 两个参数进行了优化分析。图 3 和图 4 分别是对 S_1 和 S_2 参数扫描后的 S 参数曲线图。从图 3 可以看出, S_1 对低频段和高频段的 S 参数都有影响。随着 S_1 参数的增大,低频段的谐振频率向左移,但 S 参数的最值相差不大,而高频段的阻抗匹配性能在逐渐变好,也就是带宽在增加。由于 S_1 在 2.2 mm 时,能完整覆盖 3.3~3.6 GHz 和 4.8~5.0 GHz,故优化后选取此值。另一方面,从图 4 可以看出,此时两种谐振模式相对独立, S_2 对高频段有影响,而基本上对低频段无影响。当 S_2 参数由 2.2 mm 增加至 2.4 mm 时,低频段保持原先的 S 参数,高频段的谐振频率向左偏移, S 参数仅发生微小的改变,这是由于此时槽 1 的电流基本上沿基板一侧分布,高频段受来自槽 1 的电流影响很小。综合分析,选取 $S_2 = 2.3$ mm 为优化后的参数值。

图 3 S_1 对 S 参数的影响Fig. 3 Effect of S_1 on S parameter图 4 S_2 对 S 参数的影响Fig. 4 Effect of S_2 on S parameter

3 结果分析

制作出的 MIMO 天线系统实物如图 5 所示。借助电磁仿真软件 ANSYS Electronics Desktop 2018.2,对系统的相关参数进行了仿真,同时借助矢量网络分析仪对其 S 参数进行了测试。其相关的远场结果在微波暗室中测量完成。

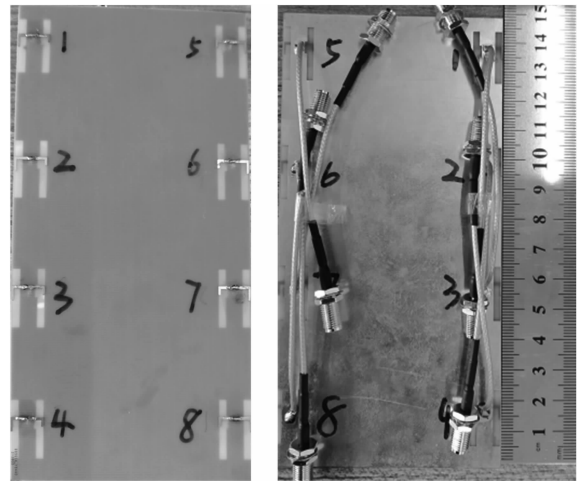


图 5 八单元 MIMO 天线系统实物图

Fig. 5 Physical images of eight-element MIMO antenna system

3.1 性能分析

图 6 给出了天线单元仿真和测试的反射系数。由于镜像对称的天线具有相同的 S 参数,所以只展示 Ant1/2/3/4 的结果。测试结果表明:在目标频段内, Ant1/2/3/4 的反射系数 $S_{ii}(i=1,2,3,4)$ 均在 -6 dB 以下,尤其在 4.8~5.0 GHz 范围内, S 参数小于 -10 dB,实现了良好的阻抗匹配。如图 7 所示,传输系数均在 -13.6 dB 以下,说明各端口之间实现了良好的隔离度。Ant1 至 Ant4 仿真得到的辐射效率如图 8 所示,从结果可以看出,天线效率均在 67% 以上,具有良好的复用性能。

包络相关系数(ECC)是 MIMO 天线性能的重要参数之一。图 9 为仿真计算得到的包络相关系数。从图 9 可以看出,在目标频段内,天线单元间的 ECC 最大值低于

0.08,符合 5G MIMO 的操作标准($ECC<0.5$)^[18]。可见,设计的天线表现出了优良的空间分集特性。

图 10 和图 11 分别给出了在谐振模式下 Ant1 ~ Ant4 的辐射方向图,从辐射结果可以看出,在 3.5 GHz 和 4.9 GHz 下,Ant1 ~ Ant4 的 E-plane (xoz 面) 辐射形状大致相似,变化平缓,最大峰值出现在 270°附近。而 Ant1 ~ Ant4 的 H-plane (yoz 面) 辐射方向图各有差异,但可基本实现全向辐射。由于天线对称排列,对称单元辐射方向互补,所设计的天线具有良好的方向性和极化特性,能满足通信要求。

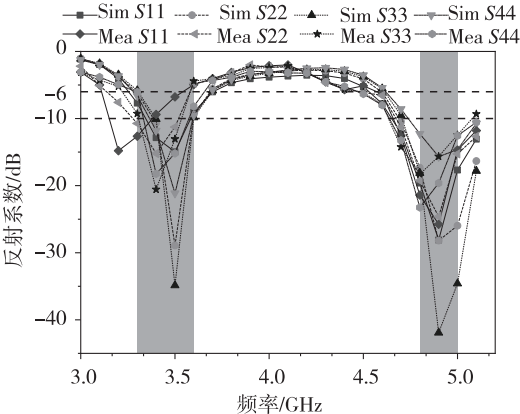


图 6 天线单元反射系数

Fig. 6 Reflection coefficients of antenna element

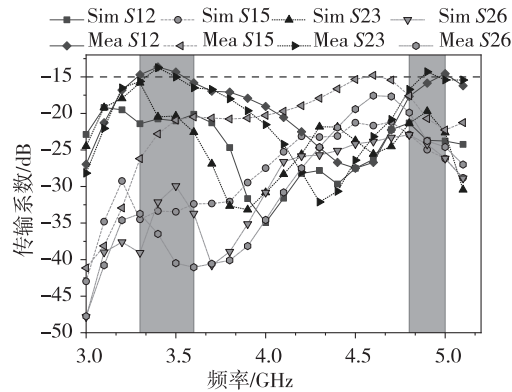


图 7 天线单元传输系数

Fig. 7 Transmission coefficients of antenna element

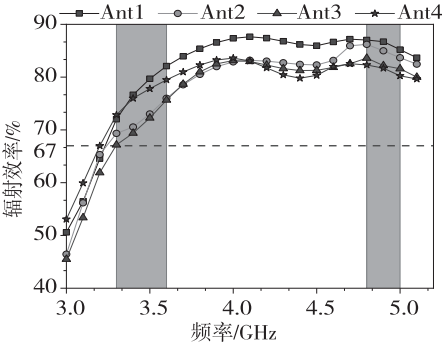


图 8 辐射效率

Fig. 8 Radiation efficiency

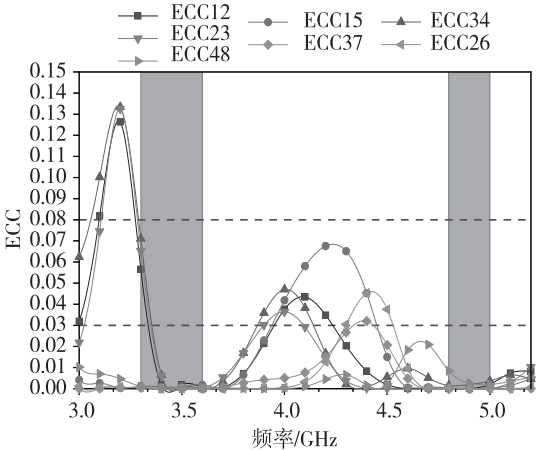


图 9 包络相关系数

Fig. 9 Envelope correlation coefficients

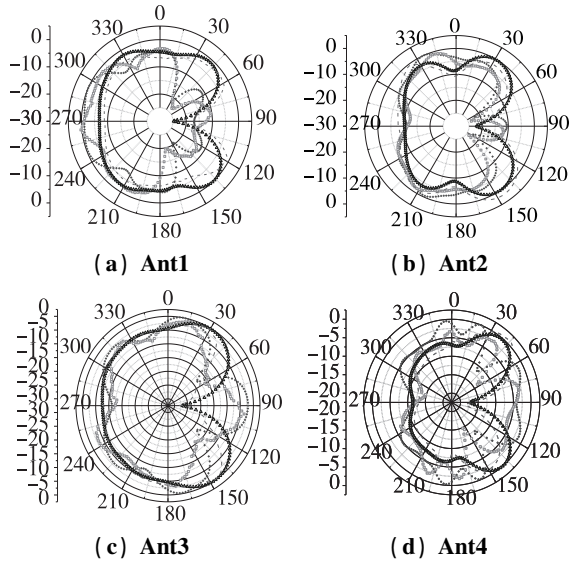


图 10 $f=3.5$ GHz 方向图

Fig. 10 Radiation patterns when $f=3.5$ GHz

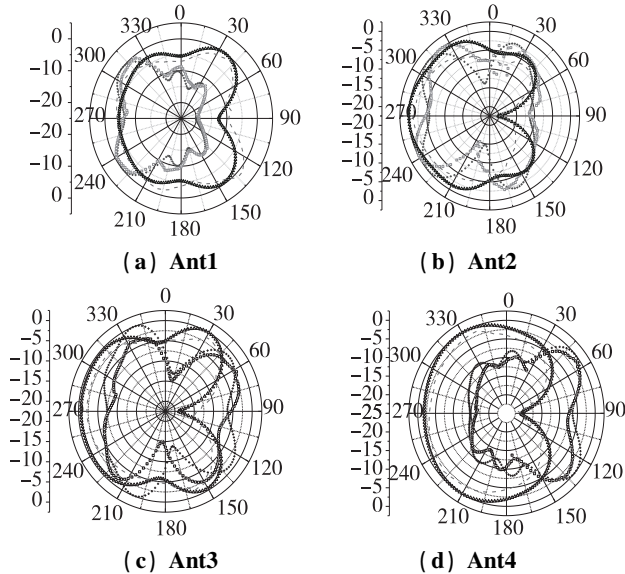


图 11 $f=4.9$ GHz 方向图

Fig. 11 Radiation patterns when $f=4.9$ GHz

3.2 单手操作模式性能分析

给出了常见的单手操作模式对天线的性能影响分析。单手操作模式如图 12 所示,图 13 给出了反射系数和传输系数的仿真结果。如图 13(a)所示,较未接触时的情形而言,一些手指接触的天线单元(Ant1, Ant2, Ant5),其谐振频率发生了左移,且它们的反射系数发生了恶化,带宽也变窄了一些,但仍然可以覆盖目标频段,未被接触的天线单元仍保持良好的阻抗匹配性能。如图 13(b)所示,由于人体组织的干预,天线单元之间的传输系数较未接触时减小了些,说明隔离度有所提高。同时,由于人体组织能吸收一定能量的电磁波,所以对各单元效率的影响往往会更加突出。图 14 给出了在单手持手机时,天线单元辐射效率的仿真结果。从图 14 可以看出,由于 Ant1, Ant2 和 Ant5 被拇指或手掌接触,它们的效率平均下降了约 30%,最高频率也只在 54% 左右。其他天线单元的效率也下降了约 10%,即使这样,也能满足 5G 的通信需求。综合分析,该 MMO 天线在单手操作模式下依然可以保持良好工作性能,具有较高的抗干扰能力。

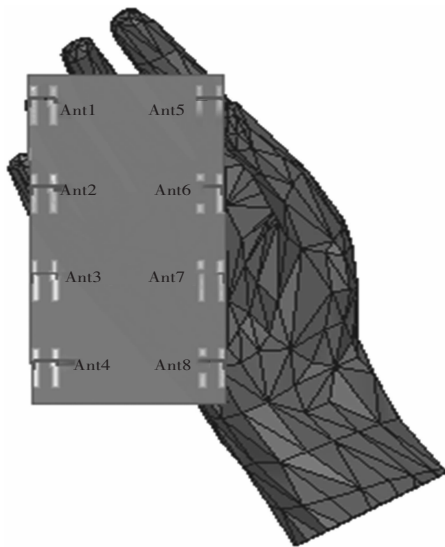
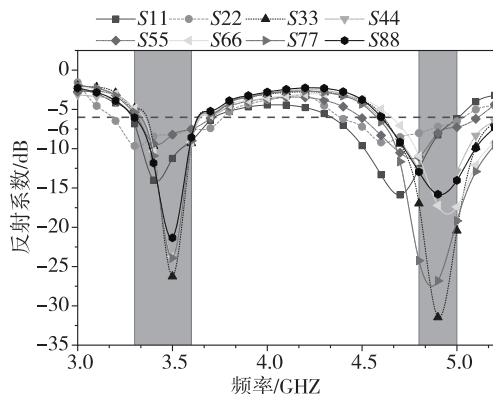
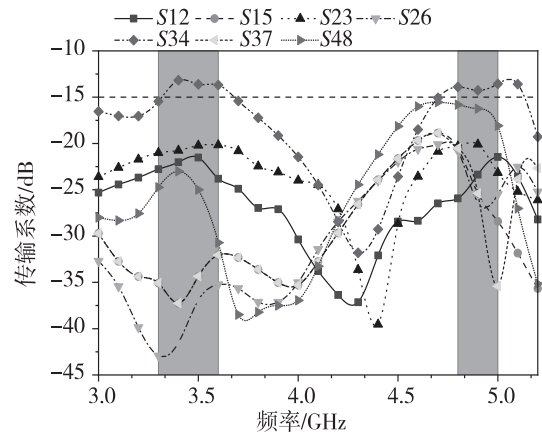


图 12 单手操作模式

Fig. 12 Single-handed operation mode



(a) 单手操作模式反射系数



(b) 单手操作模式传输系数

图 13 单手操作模式 S 参数

Fig. 13 S parameter under single-handed operation mode

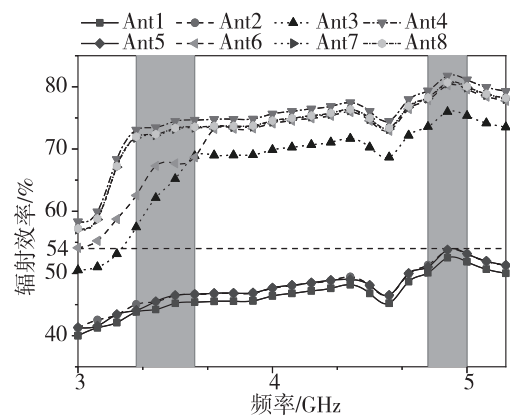


图 14 单手操作模式天线辐射效率

Fig. 14 Antenna radiation efficiency under single-handed operation mode

3.3 性能对比

为了进一步阐明提出的 MIMO 天线系统的特点,表 1 将所提出的 MIMO 天线系统与部分已提出的天线系统进行性能对比。从表 1 可以看出:提出的天线在带宽,隔离度上有优势,在效率和 ECC 参数上也表现良好。设计的 MIMO 天线系统将会是应用于 5G 通信的良好参照物。

表 1 天线性能比较

Table 1 Antenna performance comparison

天 线	带宽/GHz	隔离度/dB	效率/%	ECC
文献[3]	3.4~3.6	>15	未给出	未给出
文献[5]	3.4~3.6	>12	60~90	<0.02
文献[6]	3.4~3.6	>10	56~70	<0.2
文献[19]	3.4~3.6	>10	62~78	>0.2
本文	3.3~3.6, 4.8~5.0	>13.6	67~86	<0.08

4 结 论

设计了一种用于5G智能手机的八单元、双频段MIMO天线。通过金属板开槽的方法,覆盖了5G的3.3~3.6 GHz和4.8~5.0 GHz两个频段,不需要其他额外的去耦结构就可实现单元间的隔离度优于13.6 dB,包络相关系数低于0.08,同时天线辐射效率在67%附近。测试结果表明,天线具有体积小、隔离度高、结构简单等优点,可以满足5G手机天线通信的需求。

参考文献(References):

- [1] SUN L B, LI Y, ZHANG Z J, FENG Z H. Wideband 5G MIMO antenna with integrate orthogonal-mode dual-antenna pairs for metal-rimmed smartphones[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 68(4): 2494—2503.
- [2] ZHU H, GUAN X H, REN B P, et al. A twelve-element antenna array for tri-band MIMO operations in the 5G smartphone[C]//2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). IEEE, 2020.
- [3] CHEN W S, LIN Y C, HUANG K H. Design of 8-port cross-slot antennas for WRC 5G C-band MIMO access point applications [C]//2020 International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM), 2020.
- [4] WANG X, DONG Y X. A four-port MIMO antenna system for 5G mobile terminals[C]//2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), 2020.
- [5] ULLAH R, ULLAH S, ULLAH R, et al. A 10-ports MIMO antenna system for 5G smart-phone applications [J]. IEEE Access, 2020(8): 8477—8488.
- [6] BAN Y, LI C, SIM C, et al. 4G/5G multiple antennas for future multi-mode smartphone applications[J]. IEEE Access, 2016(8): 2981—2988.
- [7] LI M Y, XU Z Q, BAN Y L, et al. Eight-port orthogonally dual-polarized antenna array for 5G smartphone applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(9): 3820—3830.
- [8] CUI L, GUO J L, LIU Y, et al. An 8-element dual-band MIMO antenna with decoupling stub for 5G smartphone-applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2019, 18(10): 2095—2099.
- [9] GUO J L, CUI L, LI C, et al. Side-edge frameprinted eight-port dual-band antenna array for 5G smartphone applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, 66(12): 7412—7417.
- [10] HAN W W, ZHOU X P, OUYANG J, et al. A six-port MIMO antenna system with high isolation for 5-GHz WLAN access points [J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 880—883.
- [11] BIAN J F, CHU Q X. A compact high-isolation MIMO antenna with coupling neutralization line[C]//2020 9th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), 2020.
- [12] ZHAO Z P, LIU F, REN J, YIN Y Z. An 8-element multi-band MIMO antenna with high isolation for 5G smartphone application [C]//2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS- Fall), 2019.
- [13] USMAN M, PEDRAM K, ZHU Y W, et al. Highly isolated compact tri-band MIMO antenna with trapezoidal defected ground plane for 5G communication devices [C]//2020 International Conference on UK-China Emerging Technologies (UCET), 2020.
- [14] ZHENG Z, NTAWANGAHEZA J D, SUN L G. Wideband MIMO antenna system for sub-6 GHz cell phone [C]//2021 International Conference on Electronics, Circuits and Information Engineering (ECIE), 2021.
- [15] YANG K. Research and design of a high isolation 5G antenna for smart phone [C]//2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT), 2020.
- [16] 崔伦, 黎铖, 周俊娜, 等. 一种用于5G手机的双频8端口MIMO天线[C]//2018年全国微波毫米波会议论文集(下册), 2018.
CUI Lun, LI Cheng, ZHOU Jun-na, et al. A dual band 8-port MIMO antenna for 5G mobile phone [C]//Proceedings of the 2018 National Microwave Millimeter Wave Conference (Volume II), 2018.
- [17] 付振宁, 沈文辉, 代启丹. 8单元5G智能手机高隔离度MIMO天线对[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(6): 97—106.
FU Zhen-ning, SHEN Wen-hui, DAI Qi-dan. 8-element high-isolation MIMO antenna pairs for 5G smartphone[J]. Industrial Control Computer, 2021, 34(6): 97—106.
- [18] LI Y X, SIM C Y D, LUO Y, et al. High-isolation 3.5 GHz eight-antenna MIMO array using balanced open-slot antenna element for 5G smartphones [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(6): 3820—3830.
- [19] SRINIVASARAO G. Algorithm approach to multiple input multiple output (MIMO) systems [J]. Int. J. Innov. Res. Comput. Commun. Eng., 2015, 3(2): 1918—1924.