

文章编号: 2095-4980(2018)06-1048-06

一种具有双缝隙结构的双频宽带 MIMO 天线

刘志伟, 结顺利, 吴喜亮, 叶 芃, 胡 承, 丁志清

(华东交通大学 信息工程系, 江西 南昌 330013)

摘 要: 设计一种双频宽带多输入多输出(MIMO)天线。天线采用微带线耦合馈电, 在天线的表面开有圆环形缝隙, 把宽缝隙和窄缝隙结合到一起, 因此在辐射体上同时存在2种缝隙结构; 天线采用双面结构, 带宽范围为1.7~2.33 GHz和3.2~3.9 GHz, 2个频带的带宽分别为630 MHz和700 MHz, 可用于移动通信的DCS(1 710~1 880 MHz)、PCS(1 850~1 990 MHz)、UMTS(1 920~2 170 MHz)以及WIMAX(3.3~3.6 GHz)。天线在低频段的最大增益为3.6 dB, 在高频段的最大增益为5.1 dB, 隔离度在-20 dB以下, 符合MIMO天线的设计需求。

关键词: 双频宽带; 多输入多输出; 耦合; 增益

中图分类号: TN82

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201806.1048

A dual-band broadband MIMO antenna with double gap

LIU Zhiwei, JIE Shunli, WU Xiliang, YE Peng, HU Cheng, DING Zhiqing

(Department of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: A dual-band broadband Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) antenna is proposed. The antenna is coupled fed by microstrip line and has an annular aperture on the surface. The wide gap and narrow gap is combined together, so there are two kinds of gap structures on the radiator at the same time. The antenna has a double-sided structure. The bandwidth range of the antenna is 1.7–2.33 GHz and 3.2–3.9 GHz, the bandwidth of the two frequency bands is 630 MHz and 700 MHz respectively, which can be used for DCS(1 710–1 880 MHz), PCS(1 850–1 990 MHz), UMTS(1 920–2 170 MHz) and WIMAX (3.3–3.6 GHz) in the mobile communication. The maximum gain of the antenna is 3.6 dB in the low frequency band, 5.1 dB in the high frequency band, and the isolation is below -20 dB, which conforms to the design requirements of the MIMO antenna.

Keywords: dual-band broadband; Multiple-Input Multiple-Output; coupling; gain

传统的移动通信系统, 通常采用一副发射天线和一副接收天线, 即单输入单输出通信系统, 在信号传播的过程中其信道容量存在物理限制, 即 Shannon 容量。针对移动通信的多径衰落与提高链路的稳定性, 提出了天线分集技术。因此, 从传统单天线系统向多天线系统演进是无线通信发展的必然趋势。随着时代发展, 大部分国家的4G通信已陆续投入商用, 被公认为4G核心技术之一的MIMO技术也因此得到了极大关注^[1-3]。

MIMO技术指在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线, 使信号通过发射端与接收端的多个天线传送和接收, 从而改善通信质量。它能充分利用空间资源, 通过多个天线实现多发多收, 在不增加频谱资源和天线发射功率的情况下, 可以成倍提高系统信道容量, 具有明显的优势。MIMO技术最早由马可尼于1908年提出, 它利用发射端的多个天线各自独立发送信号, 同时在接收端用多个天线接收并恢复原信息, 可以实现以更小的代价达到更高的用户速率。

作为无线高速数据传输关键技术的MIMO, 其理论、性能、算法和实现均被各国学者广泛研究^[4]。随着移动通信设备的小型化和移动业务的增加, 人们对于应用于室内分布系统、无线路由器和移动终端设备等的天线尺寸也提出了更高要求。现今大多数通信设备都要求天线在保持好的性能状态下, 尺寸尽可能小。然而天线的辐射增

收稿日期: 2017-09-08; 修回日期: 2017-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61601185); 江西省自然科学基金资助项目(20171ACB21040; 20161BAB202062); 江西省教育厅科技资助项目(GJJ160533)

益和阻抗带宽会随着 MIMO 天线的尺寸减小而减小,辐射方向图也可能会发生畸变。更重要的是,天线单元间的耦合也会随天线尺寸的减小而大幅度增强^[5-7],导致天线单元间的相关性大大增加,MIMO 通信系统的信道容量随之降低。因此,如何在有限的尺寸内实现多频/宽带、低互耦、最优布局的天线,是 MIMO 天线设计亟待解决的难题。

本文提出一种结构简单的 MIMO 天线,通过在贴片上开槽的方式能够覆盖 PCS,DCS,UMTS 和 WIMAX 这 4 个频段,且天线的隔离度均小于-20 dB。

1 具有双缝隙结构的 MIMO 天线

1.1 MIMO 天线结构设计

本文提出的双频宽带 MIMO 天线,辐射单元和微带线分别位于介质基板的两侧,采用贴片切槽技术在辐射单元上开 3 个圆环形槽,属于环形微带缝隙天线。环形缝隙微带天线分为宽缝隙和窄缝隙,当波长和缝隙的大小可比拟时称为宽缝隙,宽缝隙的带宽可以做得宽;窄缝隙阻抗匹配较容易,辐射特性好。本设计把宽缝隙和窄缝隙结合到一起,在辐射体上同时存在 2 种缝隙结构。两者的结合使得天线带宽广,辐射特性好。一般的缝隙天线的相对带宽为 20%左右,本设计的带宽达到 32%,提升了 12%。介质基板材质采用 FR4,介电常数为 4.4,介质基板厚度为 1.6 mm,MIMO 天线的结构如图 1 所示,单个天线的结构如图 2 所示。

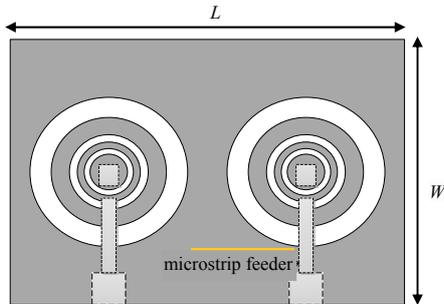


Fig.1 Structure of the MIMO antenna
图 1 MIMO 天线的结构图

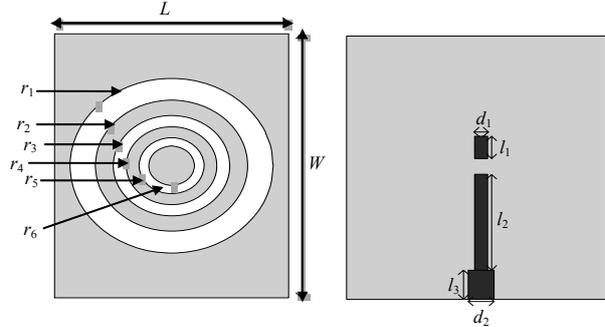


Fig.2 Front and back sight of the single antenna
图 2 单个天线的正面和背面视图

环形微带缝隙天线是微带缝隙天线的一种,其结构通常为在介质基板的接地上刻蚀出圆环槽形缝隙,并由微带线在介质基板另一侧对该环形缝隙进行耦合馈电^[8]。因为同心的环形缝隙阵能够获得一致的定向性,且环型缝隙之间互耦较小。传统的环形缝隙天线辐射线极化波,其谐振频率可由式(1)计算得到:

$$f = \frac{2c_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_c}(R_1 + R_2)} \tag{1}$$

式中: c_0 为光速; ϵ_c 为介质基板的有效介电常数; R_1 和 R_2 分别为环形缝隙的内圆半径和外圆半径。微带环形缝隙天线若不添加金属反射板,是双向辐射,它比微带贴片天线的带宽更宽,且寄生辐射和表面波激励都不大。另外,微带环形缝隙天线对制造公差敏感性小于微带贴片天线。

1.2 微带线缝隙耦合馈电的分析

微带缝隙天线采用缝隙辐射电磁波,将馈线直接与辐射体相连接电将会很困难。采用微带线对缝隙进行耦合馈电成为最常见的馈电形式。微带线缝隙耦合馈电的等效电路如图 3 所示,其中 Z_a 为缝隙本身的输入阻抗。缝隙与微带馈线形成的耦合结构可看作是一个自感分别为 L_1 和 L_2 ,互感为 M 的耦合电路。缝隙阻抗 Z_a 通过该互感耦合电路耦合到微带馈线上得到阻抗为 Z_c , Z_c 与终端开路短截线形成阻抗串联,得到从馈电点处看入的天线输入阻抗 Z_{in} 。由于开路短截线的阻抗是纯电抗,因此它的作用通常是抵消 Z_a 的虚部,使得 Z_{in} 变为纯电阻,然后通过馈线后段部分(通常为 1/4 阻抗变换线)将天线阻抗变换为所需要的阻抗(通常为 50 Ω)。

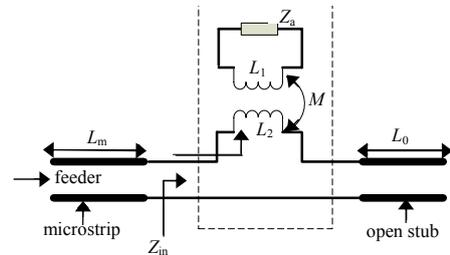


Fig.3 Equivalent circuit of the microstrip gap coupling feed
图 3 微带线缝隙耦合馈电等效电路

2 天线仿真结果及分析

图 4 为天线在分别只有 1 个窄缝隙、2 个窄缝隙、宽缝隙和窄缝隙结合的 S_{11} 比较曲线图。图 5 为天线仿真结果，从图 5(a)可以得到，天线工作带宽($S_{11} \leq -10$ dB)的范围为 1.7~2.33 GHz 和 3.2~3.9 GHz，低频段和高频段的带宽分别为 630 MHz 和 700 MHz；由图 5(b)和图 5(c)可知，天线辐射是双向的，在低频段和高频段天线最大增益分别为 3.5 dB 和 5.1 dB；由图 5(d)可知，天线的隔离度在整个仿真频段内都低于 -20 dB，满足了 MIMO 天线对隔离度的要求；由图 5(e)可知，在天线的工作频段内，天线的增益比较强，辐射效果比较好。

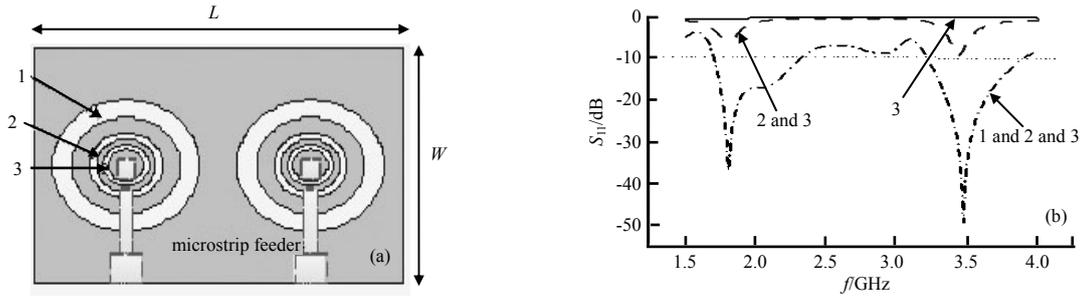


Fig.4 S_{11} of different gaps
图 4 不同缝隙的 S_{11}

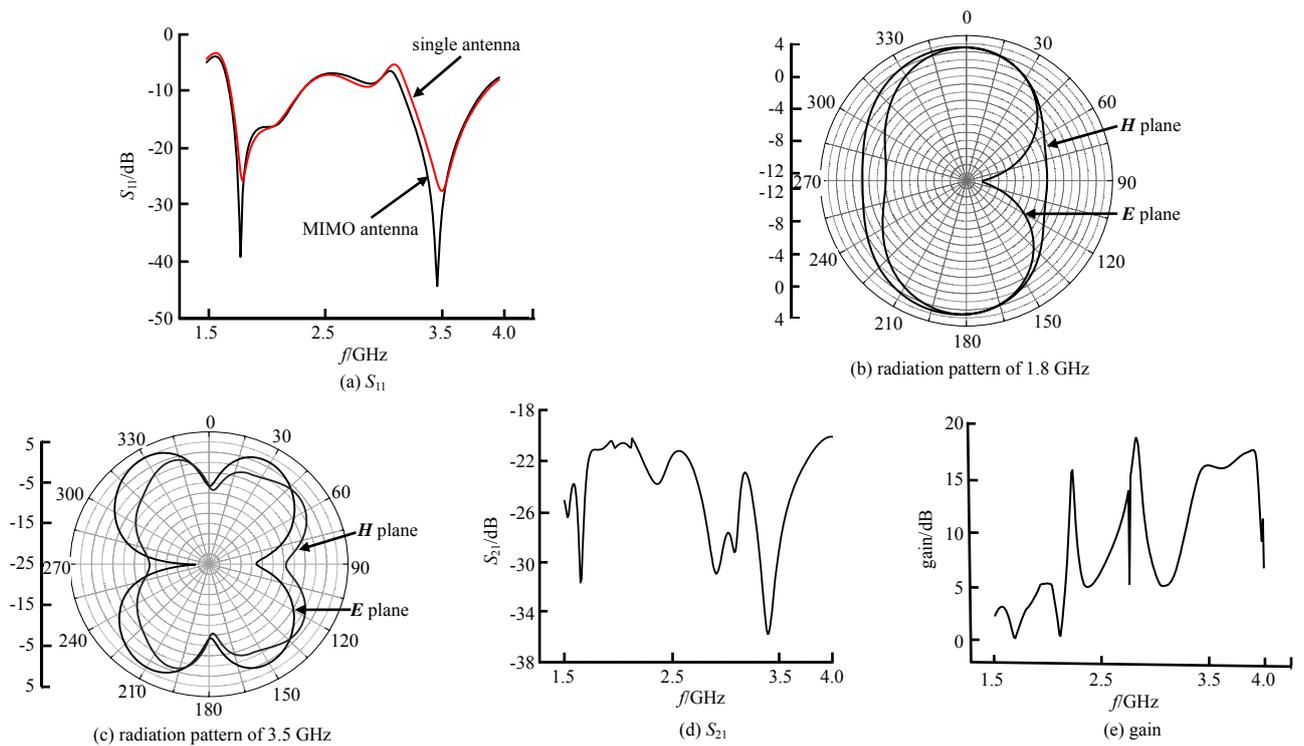


Fig.5 Simulation results
图 5 天线的仿真结果

3 天线测试结果及分析

基于图 1、图 2 所示的 MIMO 天线结构，为了验证本设计方案的可行性，对天线进行了实际加工，天线加工实物模型如图 6 所示。

利用矢量网络分析仪(VNA)对加工的天线进行测试，分别对天线的回波损耗、辐射方向图、隔离度、增益及效率等参数进行测试。图 7 为天线的回波损耗曲线图，可以看到，在 1.70~2.33 GHz 和 3.2~3.9 GHz 频段内，天线的 S_{11} 完全满足要求，测试结果和仿真结果比较一致，说明了天线设计的可行性。图 8 为天线在 1.79 GHz 的辐射

方向图。图 9 为天线在 3.5 GHz 的辐射方向图。图 10 为天线的隔离度曲线图, 天线隔离度需求小于 -15 dB, 2 根天线的距离只有在小于 $\lambda/4$ 时, 才需要考虑隔离度问题。本文设计的 2 根天线的距离为 18.3 mm, 小于天线工作频率的 $\lambda/4$ (21 mm), 满足天线设计需求。从图 10 中可以看到测试结果和仿真结果基本吻合, 均在 -20 dB 以下, 在整个测试频段内回波损耗曲线略有偏移。测试环境、加工技术等因素都会影响天线的测试结果, 总体上测试结果基本满足天线的工作要求。图 11 为加工天线的增益图, 也满足天线的工作要求。图 12 为天线的效率图, 天线的效率是在微波暗室测量的, 首先测试出天线的辐射功率(Total Radiant Power, TRP), 用 TRP 传导功率来计算。

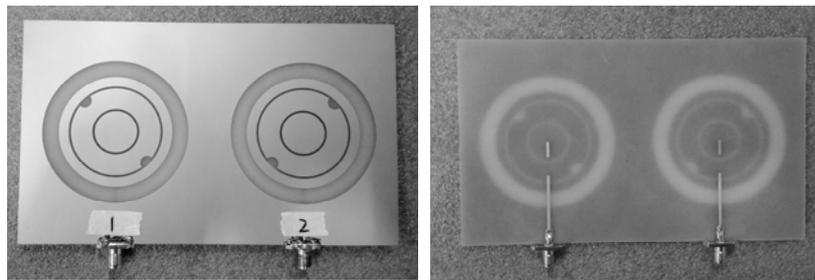
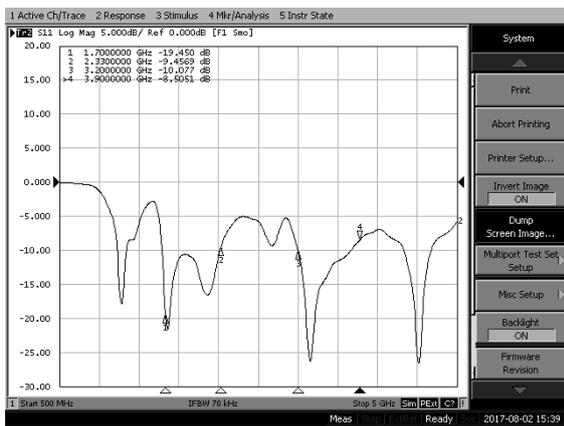
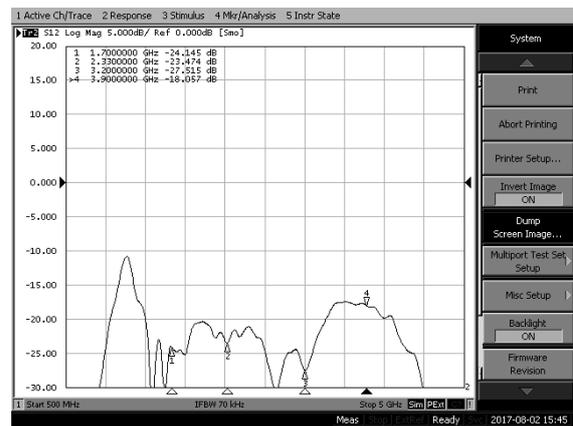


Fig.6 Front and back sight of the processing antenna
图 6 天线加工实物的正面和背面图



(a) S_{11}



(b) S_{12}

Fig.7 S_{11} and S_{12}
图 7 S_{11} 和 S_{12} 曲线

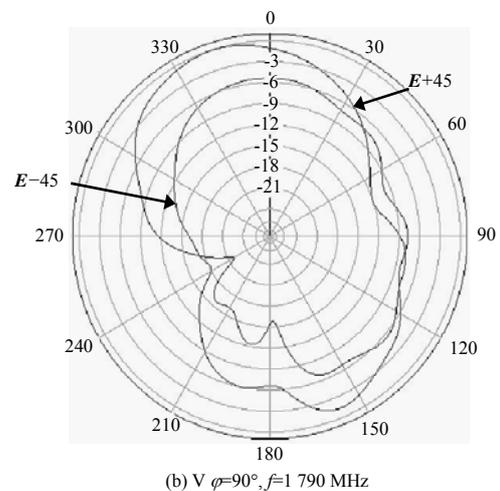
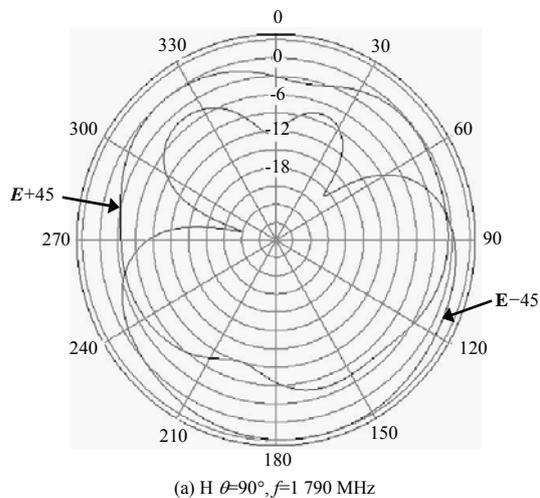


Fig.8 Radiation pattern of 1.79 GHz
图 8 1.79 GHz 的辐射方向图

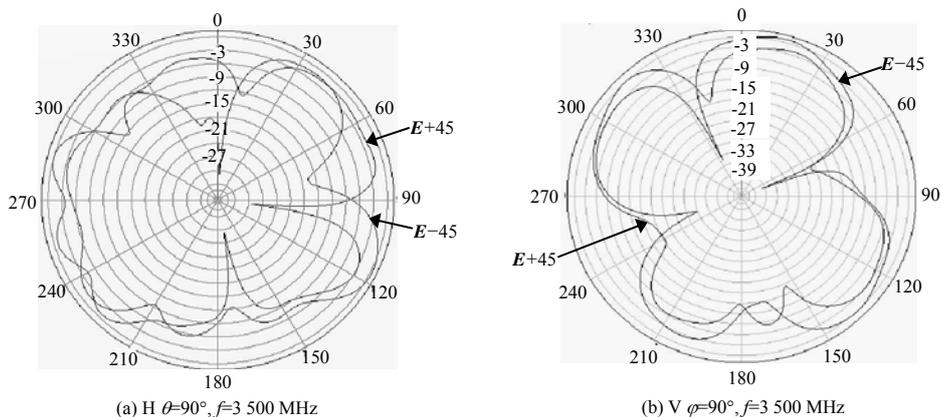


Fig.9 Radiation pattern of 3.5 GHz
图 9 3.5 GHz 的辐射方向图

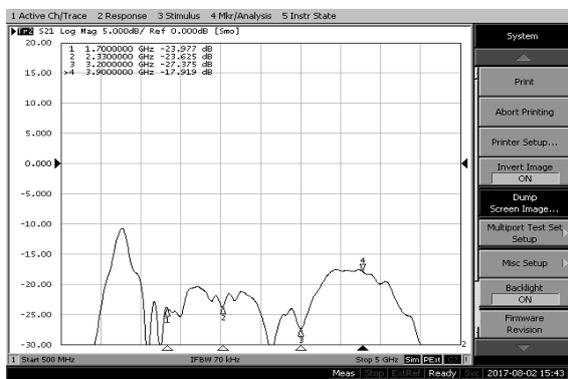


Fig.10 S_{21}
图 10 实物隔离度曲线

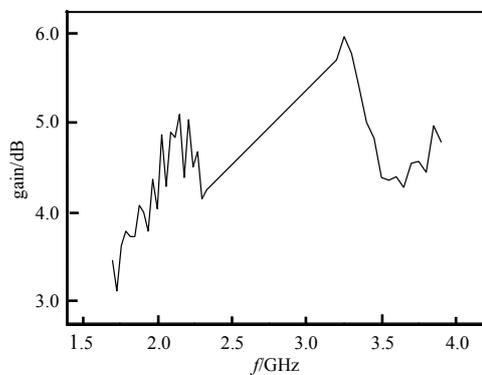


Fig.11 Gain
图 11 实物增益曲线图

4 结论

本文提出一种结构简单的双频宽带 MIMO 天线，在接地板上开圆环形槽，天线通过介质基板另一侧的微带线缝隙耦合馈电。天线工作在 2 个频段，低频段带宽范围为 1.7~2.33 GHz，带宽达到 630 MHz；高频段带宽范围为 3.2~3.9 GHz，带宽达到 700 MHz；可用于移动通信的 DCS(1 710~1 880 MHz),PCS(1 850~1 990 MHz), UMTS(1 920~2 170 MHz)以及 WiMAX(3.3~3.6 GHz)，从而是一种在有限的尺寸内实现多频宽带、低互耦、最优布局的天线。一般的缝隙天线的相对带宽为 20%左右，该设计的带宽达到 32%，带宽提升了 12%。

参考文献：

[1] FOSCHINI G J. Layered space-time architecture for wireless communications in fading environment when using multi-element antennas[J]. Bell Labs Technology, 1996(1):41-59.
 [2] TOKIO T. Analysis for mean effective gain analysis of mobile antenna in land mobile radio environments[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1990,39(2):117-131.
 [3] FOSCHINI G J,GANS M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas[J]. Wireless Personal Communication, 1998,6(3):311-335.
 [4] TELATAR E. Capacity of multi antenna Caussian channels[J]. European Transactions on Telecommunications, 1995,10(6): 585-596.

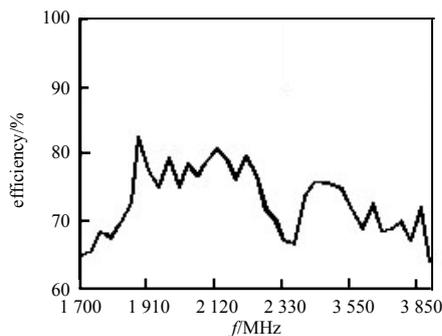


Fig.12 Efficiency
图 12 实物效率曲线图

- [5] HU W, YIN. Y Z, YANG X, et al. Compact multi resonator-loaded planar antenna for multiband operation[J]. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 2013, 61(5):2838–3841.
- [6] LI J F, CHU Q X. Compact MIMO antenna with simple decoupling method[C]// European Microwave Conference. Nuremberg, Germany:[s.n.], 2013:774–777.
- [7] SHARAWI M S, SHEIKH S S, FAOURI Y S. An 800 MHz 2×1 compact MIMO antenna system for LTE handsets[J]. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 2011, 59(8):473–481.
- [8] LATIF S I, SHAFAI L, SHARMA S K. Bandwidth enhancement and size reduction of micro strip slot antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(3):994–1003.

作者简介:



刘志伟(1982–), 男, 南昌市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为计算电磁学与快速算法. email: zwliu1982@hotmail.com.

结顺利(1991–), 女, 河南省洛阳市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为计算电磁学.

吴喜亮(1991–), 男, 安徽省黄山市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线理论与设计.

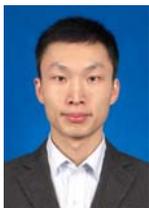
胡 承(1994–), 男, 湖北省随州市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线理论与设计.

丁志清(1994–), 男, 南昌市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线理论与设计.

叶 芑(1991–), 女, 安徽省桐城市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线理论与设计.

(上接第 1047 页)

作者简介:



许 雄(1985–), 男, 福建省莆田市人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为雷达对抗试验技术、复杂电磁环境特性与模拟、复杂电磁环境效应. email: xuxiong2008@foxmail.com.

吴若无(1987–), 男, 四川省广安市人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为雷达对抗试验技术、复杂电磁环境特性与模拟、复杂电磁环境效应.

陈 翔(1986–), 男, 河南省信阳市人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为复杂电磁环境特性与模拟.

韩 慧(1980–), 女, 成都市人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为复杂电磁环境特性与模拟.

汪连栋(1966–), 男, 天津市人, 博士, 研究员, 主要研究方向为复杂电磁环境效应.

郝晓军(1978–), 男, 西安市人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为复杂电磁环境特性与模拟.

曾勇虎(1972–), 男, 江西省赣州市人, 博士, 研究员, 主要研究方向为复杂电磁环境效应.