

# 一种用于手机终端的宽带 MIMO 双天线设计

李 培 聂在平 宗显政

(电子科技大学电子工程学院, 成都 610054)

lipei1222@163.com

**摘 要:** MIMO (多输入多输出) 无线通信技术能在不增加带宽的情况下极大地提高信道容量和降低发射功率。本文针对手机天线的小型化, 宽带化等设计要求, 利用方向图分集, 提出一种用于手机终端的双天线系统。天线单元由耦合馈电的环天线构成, 产生一个宽频带覆盖 1710~2690MHz, 两天线端口隔离度大于 10dB, 两天线信号相关性系数小于 0.1。双天线直接印制于无地电路板上, 占很小尺寸  $10 \times 60\text{mm}^2$ 。同时, 对设计方案进行加工和测试, 并对其结果进行分析。

**关键词:** 多输入多输出, 双天线, 手机天线, 移动终端天线, 隔离度, 方向图分集

## Wideband MIMO Dual-antenna for the Mobile Terminal Application

Pei Li, Zaiping Nie, Xianzheng Zong

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)<sup>1</sup>

**Abstract:** MIMO (multiple-input multiple-output) wireless communication system is getting more attention in terms of increasing channel capacity and reducing transmitting power without the extra band. In this paper, due to the small size and wide band in mobile antenna design, a dual-antenna system is proposed for the mobile application by utilizing radiation pattern diversity. The coupled-fed loop antenna can generate a wide band to cover 1710~2690MHz. The isolation between two ports is larger than 10dB and the correlation coefficient of signals is lower than 0.1. Dual-antenna is printed on the no-ground system circuit board. The proposed dual-antenna is also fabricated and measured and results are presented and discussed.

**Keywords:** multiple-input multiple-output; dual-antenna; mobile antenna; handset terminal antenna; isolation; pattern diversity

## 1 引言

随着目前移动通信的广泛应用, 以及未来 Internet 无线接入, 大幅度提高无线通信速率的要求愈强。多输入多输出 MIMO (multiple-input multiple-output) 无线通信系统收发端采用多天线, 相比单发单收系统, 其能在不增加带宽的情况下, 突破香农公式的瓶颈, 极大地提高信道容量和降低发射功率<sup>[1]</sup>。因此, MIMO 无线通信技术在第三代 (3G) 乃至三代以后 (B3G) 的移动通信系统中有着广阔的应用前景。

移动终端的 MIMO 系统中, 由于受终端受尺寸限制, 布置多天线必然使天线间距很近, 共地电流和空间耦合, 将使天线间具有较强的相互影响, 从而大大降低 MIMO 系统的性能。在已发表的文献中, 多种去耦措施提出以降低天线间互耦<sup>[2-4]</sup>。但文献所提措施仅针对频段较窄的情况, 对于频段较宽的情况研究很少。

本文针对手机天线小型化、多频化的要求, 提出一种以耦合馈电的环天线为天线单元的双天线系统应用于手机中。该天线单元具有宽频带特性, 覆盖 GSM1700/1800 /UMTS/LTE2300/2500 (1710~2690MHz) 工作频段。利用天线结构本身

的对称性降低了天线间的互耦，双天线均可工作于较宽的频段，同时两端口隔离度大于 10dB。本文对设计的双天线方案还进行了加工和测试，并对测试结果进行了分析。

## 2 天线结构

所提出的双天线结构示意图如图 1 (a) 所示，地板尺寸为  $100 \times 60 \text{mm}^2$ ，天线直接印制在没有金属地的 PCB 板的正面，这种布局用于模拟双天线位于手机 PCB 板的底端的情形，与位于 PCB 板顶端相比，位于底端能有效降低 SAR 值<sup>[5]</sup>。所述双天线具有相同的结构，均由激励馈电微带和短路接地微带两部分构成，形成耦合馈电的环天线<sup>[5]</sup>，其详细尺寸如图 1 (b) 所示，其中 A 为天线馈电点，B 为天线短路点，AC 为倒 L 型的激励馈电微带，DB 为辐射微带，通过 B 点金属过孔短路到 PCB 板背面的金属地。在如图 2 所示的实验样品中，天线直接印制在 0.8mm 厚、 $\epsilon_r=4.4$  的 FR-4 PCB 板上。为了方便对天线进行测试，PCB 板正面印制 50Ω 微带线。结合图 1 (b) 所示，附加的微带线一端接天线的馈电点 A，另一端接 A'，并在 A' 处借助 SMA 接头利用背馈的方式实现对天线的激励。

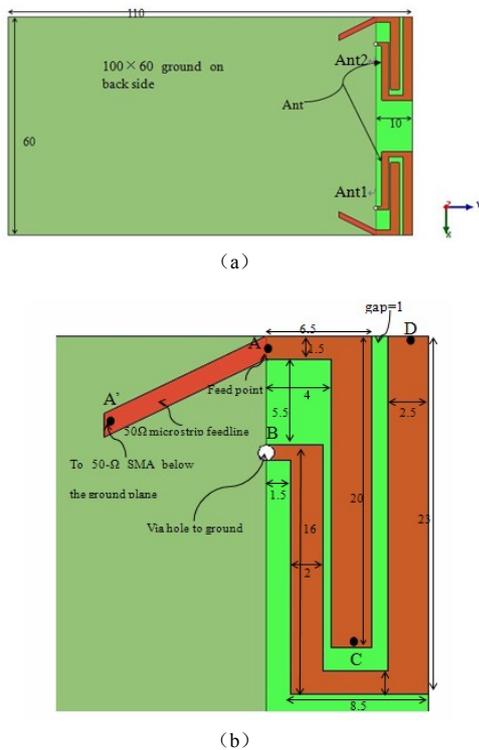


图 1 (a) 双天线结构示意图；(b) 天线单元详细尺寸

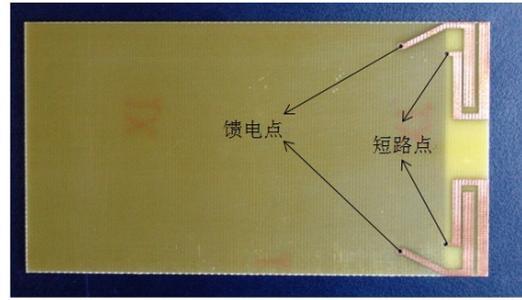


图 2 双天线加工实物图

## 3 结果分析与讨论

对设计的双天线进行仿真和测试，仿真和测得的 S 参数结果如图 3 和图 4 所示。两结果对比可知，测试曲线的谐振点相对于仿真结果而言略向低频移动，但整体趋势及数值吻合较好，参照移动终端的天线一般要求其驻波小于 3（回波损耗大于 6dB）的标准。在此种设计下，天线谐振能产生一个较宽的频带，其带宽为 1700~2700MHz，覆盖 GSM1700/1800/UMTS/LTE2300/2400（1710~2690MHz）制式下所有工作频段，在上述频带内，两天线间端口隔离度大于 10dB。

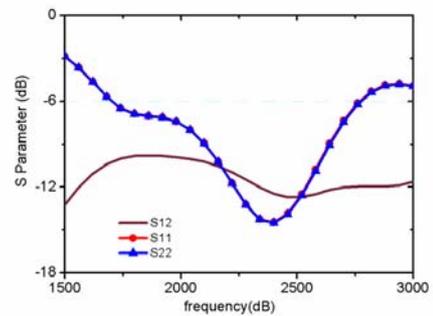


图 3 仿真所得 S 参数

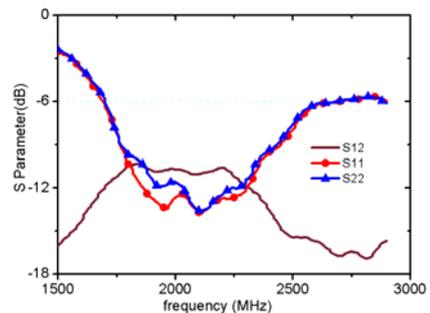


图 4 实测所得 S 参数

在分集和 MIMO 应用中，多天线接收到信号的相关性程度是评估多天线系统分集效果好坏的依据，也是衡量整个系统优劣的关键性指标。利用仿真或实测的各单元 3D 辐射方向图可以计算出在不同统计模型下的信号相关性系数。为了简化起见，本文考虑均匀分布的统计模型，当两天线辐射效率相同时，其信号相关性系数可直接由 S 参数表示<sup>[6]</sup>。将图 4 测试所得到的 S 参数代入公式 (1) 对其进行相关性系数的计算，结果如图 5 所示。由图 5 可知，在 1710~2690MHz 整个频段信号相关性系数均小于 0.1，表明本文设计方案能获得很好的分集效果。

$$\rho_e = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{21}^* S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2)(1 - |S_{22}|^2 - |S_{12}|^2)} \quad (1)$$

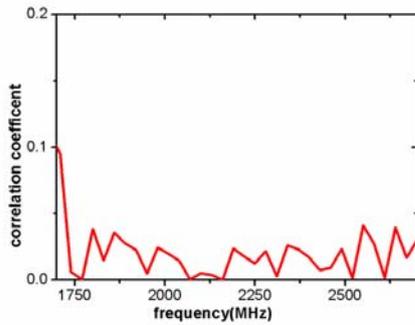
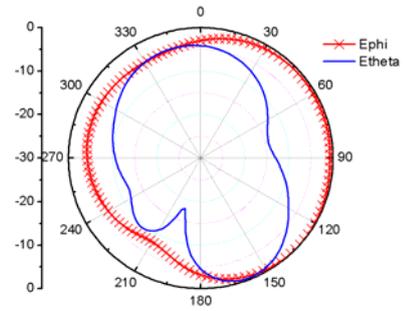
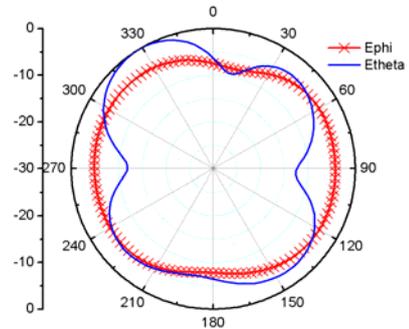


图 5 双天线信号相关性系数

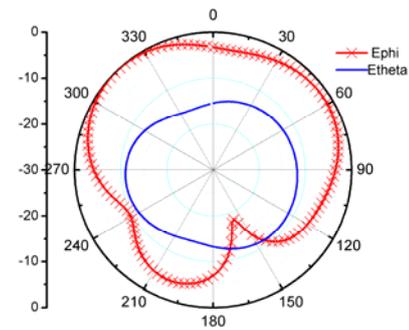
利用 STIMO StarLab 近场测试系统对实验样品辐射方向图的测试，双天线的摆排位置如图 1 (a) 所示，天线 1 位于 X 轴的正方向，天线 2 位于 X 轴的负方向。测试天线 1 时，天线 2 馈电端口接 50Ω 匹配负载；同理，测试天线 2 时，天线 1 接 50Ω 匹配负载。在 2150MHz 的工作频率下，两天线实测方向图如图 6 和图 7 所示，图中给出了 XZ、YZ、XY 三个面内 Ephi 和 Etheta 两个分量的相对变化。由图可知，双天线 XZ 面和 XY 面方向图具有明显的互补性，天线 1 主辐射方向沿正 X 轴方向，天线 2 主辐射方向沿负 X 轴方向，另外，各自的方向性也较强，因此能实现良好的方向图分集。



(a) phi=0 (XZ 面)

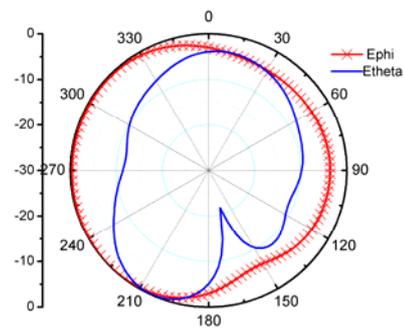


(b) phi=90 (YZ 面)

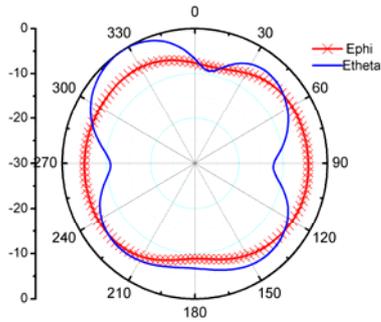


(c) theta=90 (XY 面)

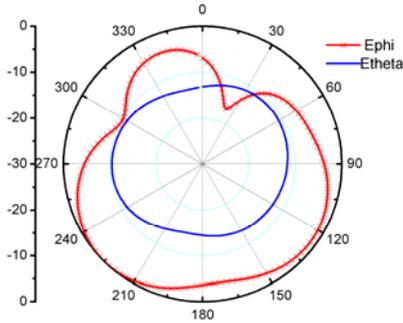
图 6 f=2150MHz 天线 1 测试方向图



(a) phi=0 (XZ 面)



(b)  $\phi=90$  (YZ 面)



(c)  $\theta=90$  (XY 面)

图 7  $f=2150\text{MHz}$  天线 2 测试方向图

再对实验样品中两天线总效率（即同时考虑功率反射及辐射损耗）和增益进行测试。天线 1 总效率和增益的测试结果如图 8 所示。在 1710~2690MHz 内，天线 1 的总效率均大于 40%，而增益大于 0dB，完全满足手机天线的实际应用要求。因结构的一致性，天线 2 的测试结果与天线 1 也基本一致。

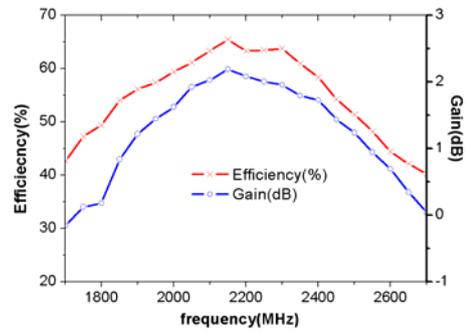


图 8 天线 1 实测总效率和增益曲线

## 4 结论

本文提出一种宽带双天线应用于手机终端中，天线单元由耦合馈电的环天线构成，谐振产生宽带覆盖 GSM1700/1800 /UMTS/LTE2300/2500 (1710~2690MHz)。并对设计方案进行加工测试，其信号相关性系数较低，天线单元方向图方向性较强，能实现方向图分集。同时，天线结构简单，成本低，易于加工，完全适用于手机终端的 MIMO 双天线系统。本文工作仅针对移动通信终端高频部分的研究，对于覆盖高低双频段的 MIMO 手机双天线已做相关研究。低频部分面临诸如强互耦等挑战，由于篇幅有限，另文讨论。

## 参考文献

- [1] D.S. Shiu, G.J. Foschini, M.J. Gans, and J.M. Kahn, Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems, *Communications, IEEE Transactions on*, 2000, 48, (3), pp. 502-513
- [2] S.C.Chen, Y.S. Wang and S.J. Chung, A decoupling technique for increasing the port isolation between two strongly coupled antennas, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 2008, 56, (12), pp. 3650-3658
- [3] S.W. Su, and C.T. Lee, Printed two monopole antenna system with a decoupling neutralization line for 2.4 GHz MIMO applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, 53, (9), pp. 2037-2043
- [4] C.Y. Chiu, C.H. Cheng, R.D. Murch, and C.R. Rowell, Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 2007, 55, (6), pp. 1732-1738
- [5] K.L. Wong, M.F. Tu, C.Y. Wu, and W.Y. Li, On-board 7-band WWAN/LTE antenna with small size and compact integration with nearby ground plane in the mobile phone, *Microwave and Optical Technology Letters*, 52, (12), pp. 2847-2853
- [6] I. Salonen and P. Vainikainen, Estimation of signal correlation in antenna arrays, In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium Antennas (JINA'02)*, Nice France, 2002, pp.383-386.

### 作者简介:

李培, 男, 硕士, 主要研究领域 MIMO 多天线在移动通信中的应用; 聂在平, 男, 教授、博导, 主要研究领域为计算电磁学, 电磁散射与逆散射, 非均匀介质中的场与波, 新一代移动通信中的多天线技术等; 宗显政, 主要研究领域为天线技术, 计算电磁学等。