

# 七频段金属外壳手机天线的设计

杨康 沈文辉 林嘉宏 任芳 范迪

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

**摘要:** 提出了一种应用在金属外壳手机终端上,实现了一6dB以下的带宽为800~960 MHz,1 710~3 000 MHz频段的手机天线设计。为了保证辐射性能和所需带宽,在金属的手机外壳的短边上开宽为2mm的U型槽,在馈电处采用电容匹配和一个可切换的电路接地枝节实现 GSM850/900 (824~960 MHz),DCS/PCS/UMTS2100(1 710~2 170 MHz),LTE2300/2500 (2 300~2 700 MHz)七个频段的覆盖。手机尺寸为152 mm×72 mm×6.8 mm,天线的净空区域为7 mm×70 mm。通过实物测试,手机天线的辐射效率,在低频824~960 MHz频段中为38%~46%,在1 710~2 700 MHz中,辐射效率为可达38%~64%。该天线具有很好的辐射性能,适合应用于金属外壳的移动终端中。

**关键词:** 多频段;手机天线;金属外壳;U型槽

**中图分类号:** TN713 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

## Hetpa-band antenna for the mobile phone of metal casing

Yang Kang Shen Wenhui Lin Jiahong Ren Fang Fan Di

(School of Electronic Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** A hetpa-band antenna design for the mobile phone of metal casing has been proposed. The antenna can operate at 800~960 MHz, 1 710~3 000 MHz, for 2G, 3G, and LTE bands. To guarantee the performance of the antenna, U-shaped slot is etched on the metal casing. By taking a feed matching capacitor and a switch circuit, the proposed antenna is capable of covering GSM850/900 (824~960 MHz), DCS/PCS/UMTS2100(1 710~2 170 MHz), LTE2300/2500(2 300~2 700 MHz), hetpa-band. The outside dimension of the phone is 152 mm (length)×72 mm (width)×6.8 mm (height), a 7 mm×67 mm area is excised at the top edge of the system board. The antenna prototype is fabricated and measured, and it has good radiation performance. For the 824~960 MHz, the radiation efficiency from 38% to 46%. For 1 710~2 700 MHz, the radiation efficiency is from 38% to 64%. It is appropriate for the application of mobile phone with metal casing.

**Keywords:** multiband, mobile phone antenna, metal casing, U-shape slot

## 0 引言

近年来,随着现代无线通信的发展,特别是对手机天线的需求,天线性能的要求也越来越高。一般的移动设备,多频段是最重要研究方向之一。为了满足这一要求,不同类型的手机天线的已经被研究,如单极、缝隙、和倒F<sup>[1-6]</sup>。同时,可调谐技术和MIMO技术也引入到手机天线来提高性能<sup>[7-12]</sup>。

近期,金属结构的手机,如金属框架和金属外壳,因其外观美观、耐用,越来越受到消费者的青睐。但对设计天线来说很困难,由于金属结构会产生很强的耦合。在过去的几年中,大多数研究集中在金属边框,金属边框天线设计有两种解决方案。一种是把金属边框开缝切成几段作为天线

辐射的一部分,如文献[13]。然而金属框开缝的地方对人手特别敏感。当人手接触缝隙时,手机天线的辐射性能会会差。为了解决这个问题,第二种解决方案采用全封闭金属边框,可以减少人体对手机天线的影响,如文献[14-18]。

然而,由于金属外壳的金属结构有更高的耦合,天线设计方面的研究较少。在文献[19]中通过匹配的电感和两个可调谐的技术,可以在全金属手机壳的情况下天线-6 dB带宽为700~960 MHz和1 710~2 170 MHz,但不能盖2 300~2 700 MHz。

本文提出了一种新型的七频段金属外壳手机天线,实现了一6 dB以下的带宽为824~960 MHz,1 710~2 700 MHz频段天线设计。在手机金属机壳背面的一端开一个U型的槽,通过匹配电容和一个可切换的电路实现了

七频段。

### 1 天线结构与设计

如图 1 所示,在金属手机的外壳的两端开一个宽为 2 mm 的 U 型缝隙。手机的尺寸 152 mm(长)×72 mm(宽)×6.8 mm(高)。该天线包括馈电,匹配电容  $C_1$ 、PCB 板、塑料、接地枝节 FG,和带有可调的电路枝节 E。其中 PCB 板尺寸为 67 mm×20 mm×0.5 mm,相对介电常数为 4.4 的 FR4 材料,净空区域的大小为 7 mm×67 mm。塑料厚为 0.5 mm,相对介电常数为 2.0,在金属手机外壳的上下两端。该天线是用 50  $\Omega$  馈电端口进行馈电,馈电位置在离手机中心为 15 mm。接地枝节 FG 的位置距离手机的左边为 9 mm,带有可调电路的 E 枝节离手机右边框的距离为 7.5 mm。该可调电路可以用 1 切 4 的开关,开关 1:RF1 为 0  $\Omega$ ;开关 2:RF2 为 14 nH;开关 3:RF3 为 20 nH,开关 4:RF4 为 30 nH。U 型槽的开口长度为 13.8 mm。

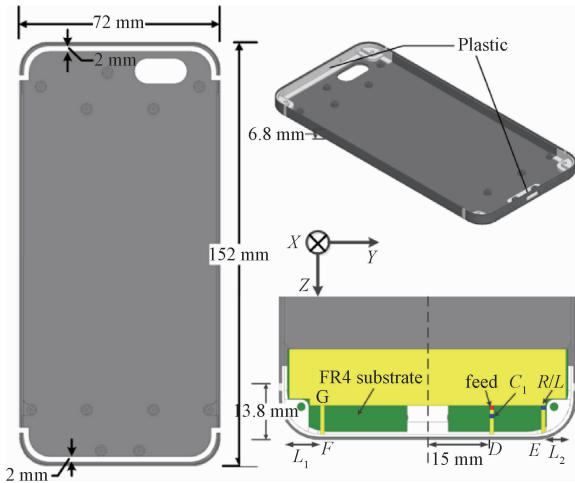


图 1 天线结构

图 2 所示为 3 种情况下的 S11, case1 为电容  $C_1 = 2$  pF, 0  $\Omega$  接地枝节; case2 为电容  $C_1 = 2$  pF, 接地枝节 FG, 0  $\Omega$  接地枝节 E; case3 为电容  $C_1 = 0.8$  pF, 接地枝节 FG,  $L_1 = 20$  nH 接地枝节 E。case 1 可以激励 3 个谐振: 0.67 GHz, 2.5 GHz 和 2.9 GHz。其中 0.67 GHz 的谐振点的工作模式为  $\lambda/4$  的单极子, 由 D 点的左侧到 U 型槽的端口产生, 而 2.9 GHz 的谐振点的工作模式为  $3\lambda/4$  的高次模式, 也是由 D 点的左侧到 U 型槽的端口产生。2.5 GHz 的谐振点的工作模式为  $\lambda/4$  的类似倒 F 天线, 由 D 点的右侧产生。case2 与 case1 相比增加一个接地枝节 FG, 在高频 1.9 GHz 产生了谐振, 该谐振的工作模式为  $\lambda/4$  的类似倒 F 天线, 由 D 点的左侧产生, case2 的天线 -6 dB 的带宽可以覆盖 1 710~2 700 MHz。case3 和 case2 相比接地枝节 E 中的 0  $\Omega$  变成电感  $L = 20$  nH, 电容  $C_1 = 2$  pF 变成 0.8 pF, case3 可以切换到低频的工作状态, 在 0.87 GHz 产生谐振点, 该工作模式为由馈电点和接地枝节 FG 组成

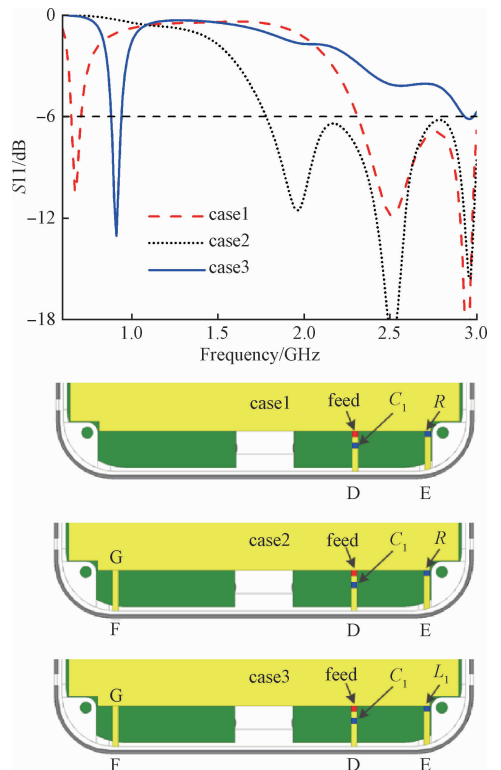


图 2 天线仿真 S11

case1(电容  $C_1 = 2$  pF, 0  $\Omega$  接地枝节 E)  
case2(电容  $C_1 = 2$  pF, 接地枝节 FG, 0  $\Omega$  接地枝节 E) case3(电容  $C_1 = 0.8$  pF, 接地枝节 FG, 电感  $L_1 = 20$  nH 接地枝节 E)

的 loop 天线工作模式。如图 3 所示,改变接地枝节的 E 中的电感  $L$ , 实现低频可调, 覆盖 824~960 MHz。

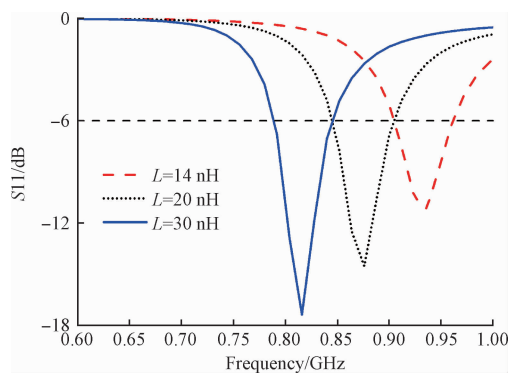


图 3 不同的 L 电感值的 S11

为了更好的了解天线的参数对天线性能的影响。图 4 分析了接地枝节 GF 与左边框距离  $L_1$  的影响, 可以知道当  $L_1$  长度增加时, 1.9 GHz 的谐振会朝着高频偏, 而其他两个谐振点基本没有什么变化。图 5 分析另外一个接地枝节 E 与右边框距离  $L_2$  的影响, 当  $L_2$  增加时, 2.5 GHz 谐振点

向高频偏,其他两个谐振基本没有什么影响。

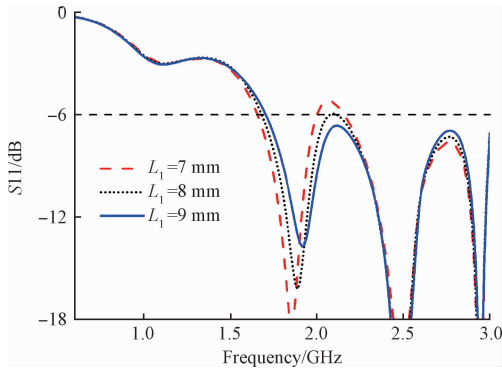


图4 不同长度的 $L_1$ 的 $S_{11}$

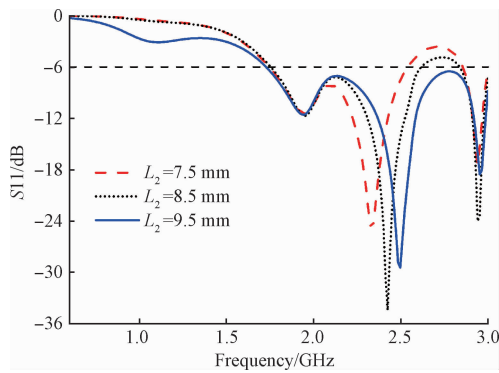


图5 不同长度的 $L_2$ 的 $S_{11}$

## 2 结果与分析

通过 Ansoft HFSS 15.0 电磁仿真软件进行仿真优化后,进行实物加工,图6是手机天线的正面和反面。实物测试的回波损耗 $S_{11}$ 是通过安捷伦 E5071C 矢量网络分析仪所测得的。图7(a)为开关1,RF1情况下,中高频1 710~2 700 MHz的仿真与测试的结果对比图,结果表明,基本吻合,图7(b)~(e)为RF2、RF3、RF4情况下仿真和测试结果的对比,实现低频可调,覆盖824~960 MHz,通过图中

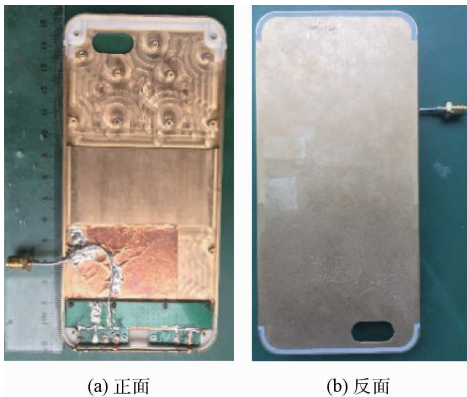


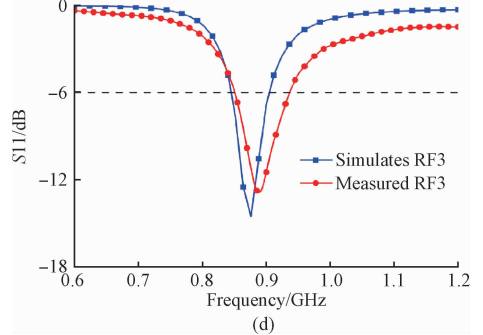
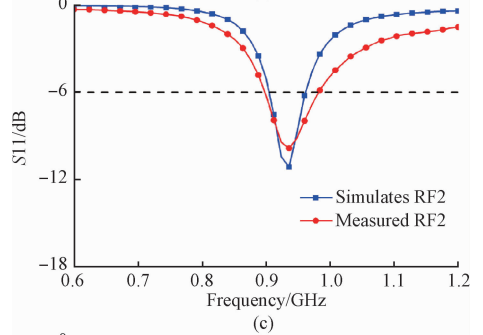
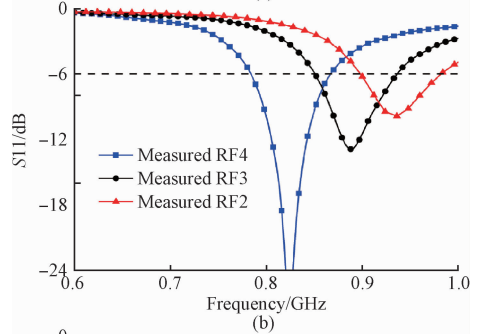
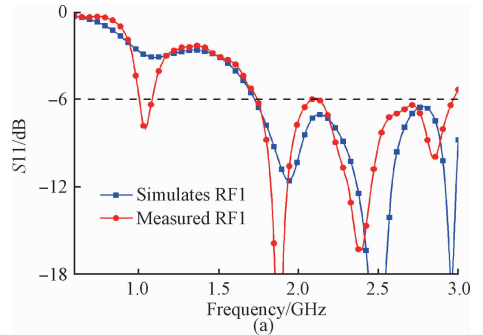
图6 实物手机天线

可以知道,仿真与测试比较一致。

辐射方向图和辐射效率是通过 ETS 微波暗室所测得的。图8为谐振点在0.87、1.9和2.5 GHz辐射方向图,包括 $E_\theta$ 和 $E_\phi$ 的3个面 $xoz$ 、 $xoy$ 和 $yoz$ 面,通过图可知方向图基本为全向的。

图9为手机天线的辐射效率,在824~960 MHz频段中,辐射效率为38%~46%。在1 710~2 700 MHz中,辐射效率为38%~64%。

通过以上的实物测试数据可知,该天线具有很好的辐射性能。



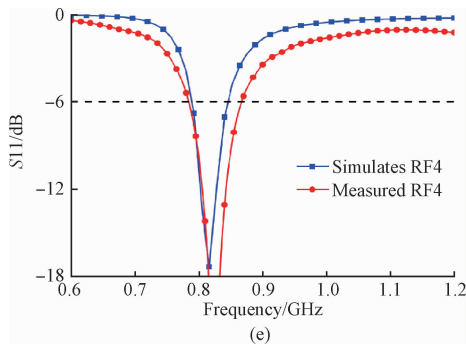


图 7 S11 仿真与测试

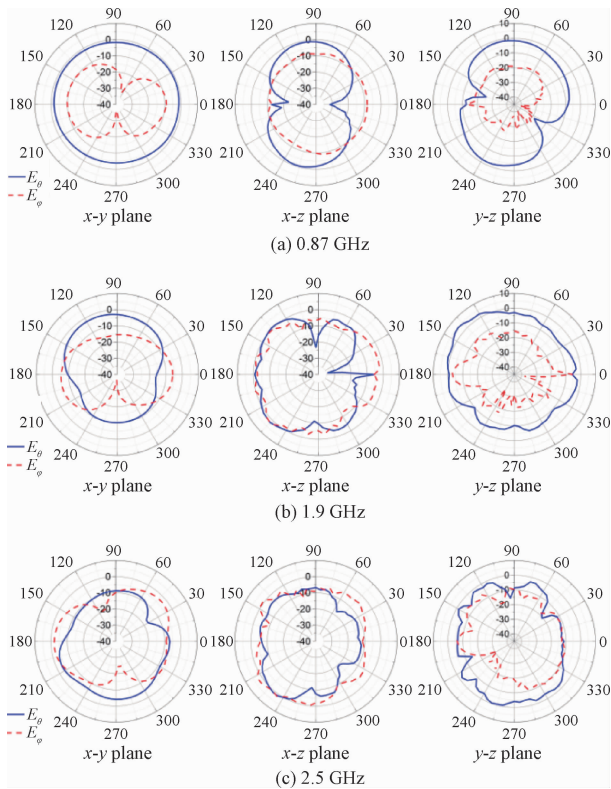


图 8 天线的辐射方向

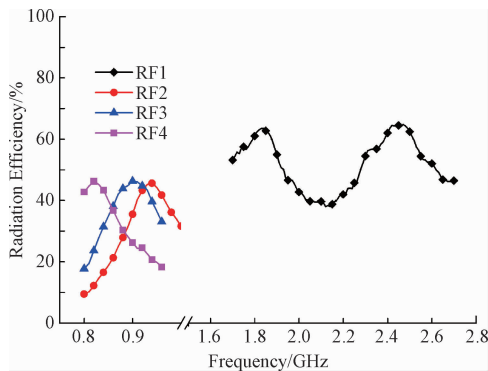


图 9 天线的辐射效率

### 3 结 论

本文设计了一款应用在金属外壳的手机天线,该天线通过在顶端开宽为 2 mm 的 U 型槽,利用 U 型槽作为手机天线辐射体,在馈电处采用电容匹配和可切换电路的接地枝节覆盖 GSM850/900/DCS/PCS/UMTS2100/LTE2300/2500 共 7 个频段的。手机尺寸为 152 mm×72 mm×6.8 mm,天线的净空区域为 7 mm×70 mm,通过实物加工测试可以覆盖 824~960 MHz,1 710~2 700 MHz 频段,具有很好的辐射性能,适合应用于金属外壳的移动终端中。

### 参 考 文 献

- [1] KU C H, LIU H W, LIN S Y. Folded dual-loop antenna for GSM/DCS/PCS/UMTS mobile handset applications[J]. Antennas & Wireless Propagation Letters IEEE, 2010, 9(1):998-1001.
- [2] WONG K L, CHEN S C. Printed single-strip monopole using a chip inductor for penta-band wwan operation in the mobile phone[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2010, 58(3):1011-1014.
- [3] HSU C K, CHUNG S J. Compact antenna with U-shaped open-end slot structure for multi-band handset applications[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2014, 62(2):929-932.
- [4] CHEN Z, BAN Y L, CHEN J H, et al. Bandwidth enhancement of LTE/WWAN printed mobile phone antenna using slotted ground structure[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2012, 129(7):469-483.
- [5] ZHENG M, WANG H, HAO Y. Internal hexa-band folded monopole/dipole/loop antenna with four resonances for mobile device[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2012, 60(6):2880-2885.
- [6] 严冬, 汪朋, 李帅永, 等. 2.45 GHz 印刷倒 F 天线的研究与实现[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(10):2372-2380.
- [7] WONG K L, KANG T W, TU M F. Internal mobile phone antenna array for LTE/WWAN and LTE MIMO operations [J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2011, 53(7):1569-1573.
- [8] REN Y J. Ceramic based small LTE MIMO handset antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2013, 61(61):934-938.
- [9] ZHOU X, QUAN X L, LI R L. A dual-broadband MIMO antenna system for GSM/UMTS/LTE and WLAN handsets [J]. IEEE Antennas & Wireless

- Propagation Letters, 2012, 11(1):551-554.
- [10] LEE J M, KIM K B, RYU H K, et al. A compact ultra wide band MIMO antenna with WLAN band-rejected operation for mobile devices [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012(11): 990-993.
- [11] AHMED F, LI R L, FENG Y. Development of a compact planar multiband MIMO antenna for 4G/LTE/WLAN mobile phone standards [C]. Proceedings of the International Symposium on Antennas & Propagation, IEEE, 2013:539-542.
- [12] LIU Y, ZhOU Y M, LIU G F, et al. Heptaband inverted-F antenna for metal-rimmed mobile phone applications [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2015(15):996-999.
- [13] CHEN H, ZHAO A. LTE antenna design for mobile phone with metal frame [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2015(15):1462-1465.
- [14] BAN Y L, QIANG Y F, CHEN Z, et al. A dual-loop antenna design for hepta-band WWAN/LTE metal-rimmed smartphone applications [J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2014, 63(1):48-58.
- [15] ZHONG J, CHEN K K, SUN X. A novel multi-band antenna for mobile phone with metal frame [C]. International Conference on Wireless Communica-
- tions, Networking and Mobile Computing, IEEE, 2013:1-4.
- [16] ZHAO K, ZHANG S, ISHIMIYA K, et al. Body-insensitive multimode MIMO terminal antenna of double-ring structure [J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2015, 63(5):1925-1936.
- [17] ZHANG S, ZHAO K, YING Z, et al. Investigation of diagonal antenna-chassis mode in mobile terminal LTE MIMO antennas for bandwidth enhancement[J]. Antennas & Propagation Magazine, IEEE, 2015, 57(2):217-228.
- [18] SON T, JO Y. Wideband mobile MIMO antenna for the metal cover phone [C]. 2015 IEEE Region 10 Conferencel, IEEE, 2015:1-3.
- [19] CHEN P, WANG P, YU Y, et al. A compact LTE antenna design for mobile device with full metal housing [C]. International Workshop on Antenna Technology, 2016:23-24.

## 作者简介

杨康, 硕士研究生, 主要研究方向为手机天线设计。

E-mail: yangkang\_shu@163.com

沈文辉, 1972年出生, 副教授, 主要研究方向为微带天线、手机天线、相控阵天线等。