

一种新型宽频带折合平面单极子手机天线的设计与分析

李增瑞^{1,2}, 姜开波², 李传欣², 李彦霏², 王均宏¹

(1. 北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044; 2. 中国传媒大学信息工程学院, 北京 100024)

摘 要: 本文设计了一种新型微带馈电的折合平面单极子手机天线, 采用时域有限差分法 (FDTD) 计算并分析了新型折合平面单极子天线几何参数对其性能的影响. 实际测试发现, FDTD 方法分析所得结果与实验结果基本一致. 该天线具有结构简单、宽频带、馈电方便、便于集成等特点, 为第三代移动通信手机天线增加了一种新选择.

关键词: 平面单极子天线; FDTD; 手机天线; 第三代移动通信系统

中图分类号: TP393.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 12A-2399-03

Design and Analysis of a Novel Broad-band Folded Planar Monopole Antenna for Mobile Handset

LI Zeng-rui^{1,2}, JIANG Kai-bo², LI Chuan-xin², LI Yan-fei², WANG Jun-hong¹

(1. Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: A novel microstrip-fed folded planar monopole handset antenna is proposed. The effect of the structural parameters on the impedance and radiation characteristics of the antenna is analyzed by using FDTD method. The results of FDTD are essentially agreement with experimental results. The proposed antenna has properties of simple structure, broad-band, easier to feed, and easier to integrate. This novel folded planar monopole handset antenna provides a new choice for the third generation mobile communication system.

Key words: planar monopole antenna; FDTD; mobile antenna; 3G

1 引言

第三代移动通信系统对天线提出了同时兼顾宽频带、小型化、辐射效率的要求, 许多新技术和材料也因此被用于设计第三代移动通信天线. 目前主要的天线形式包括: 对称印刷振子天线 (printed dipole antenna)^[1]、平面单极子天线 (planar monopole antenna)^[1]、倒 F 型天线 (PIFA)^[2]、折合平面单极子天线^[3~5]. 由于这些天线具有辐射场覆盖范围广以及结构简单、制作成本相对较低的优点, 所以适合作为 3G 手机天线使用.

本文在前人工作的基础上设计了一种新型微带线馈电的折合平面单极子手机天线, 这种天线具有结构简单、频带宽、馈电方便、易与电路集成等特点, 并且在工作频段内水平面覆盖范围较大. 测试表明该天线的实际工作频率为 (808MHz ~ 1000MHz)、(1110MHz ~ 1610MHz)、(1680MHz ~ 2252MHz), 带宽达到 1274MHz, $|S_{11}|$ 均小于 -10dB, 能够满足当前和第三代移动通信系统对天线的要求. 本文采用时域有限差分法 (FDTD)^[6,7] 计算并给出了新型折合平面单极子天线几何参数的变化对其性能的影响, 经过实际测量发现, FDTD 方法的计算结果与实验结果基本一致.

2 天线结构

本文提出的新型折合平面单极子手机天线结构如图 1 和图 2 所示. 图 1 为正视图, 图 2 为侧视图. 该天线的辐射单元为一个折合的矩形单极子贴片, 采用 50 Ω 微带线进行馈电, 馈线宽度为 4mm, 基板的相对介电常数为 4.0、厚度为 2mm 的复合材料. 其中折合的矩形单极子贴片分为三个矩形平板部

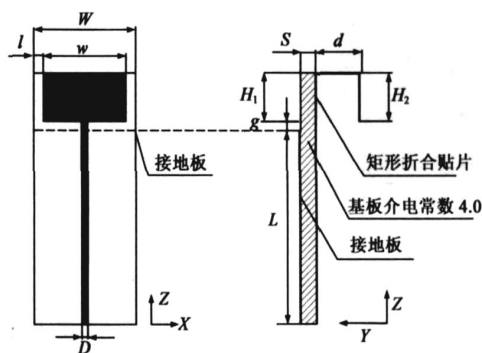


图 1 天线的正视图

图 2 天线的侧视图

分,其中两个平行于 XZ 面的金属板尺寸分别为 $w \times H_1$ 和 $w \times H_2$,另一个垂直于 XZ 面的金属板尺寸为 $w \times d$. 该天线的总体贴片长度为 $H_1 + H_2 + d$. 由于本文采用较高介电常数的复合材料作为基板,可使贴片长度较最低工作频率的四分之一波长有所减小. 接地板的尺寸为 $W \times L$. 微带馈线的长度为 $L + g$,通过改变 g 的大小可以有效地改善天线的阻抗匹配. 基板的尺寸为 $W \times (H_1 + g + L)$,基板宽度比矩形贴片的宽度 w 左右各多出 l ,如图 1 所示,通过改变 l 的大小可以有效地增加天线的工作带宽.

3 计算与实验结果及分析

天线采用 FDTD 进行仿真,各向异性完全匹配层(PML)作为吸收边界,PML 选为 10 层. 为了精确模拟天线的结构,空间步长设为 $x = 1\text{mm}$, $y = 0.5\text{mm}$, $z = 1\text{mm}$,总网格数为 $88 \times 86 \times 192$. 激励信号采用高斯脉冲 $V(t) = e^{-(t-t_0)^2/T^2}$, $T = 10^{-10}\text{s}$, $t_0 = 3.1T$,时间步长设为 $t = 1.2 \times 10^{-12}\text{s}$.

本文对折合平面单极子天线进行大量数值计算和优化,将各结构参数对天线的的影响作了分析比较. 计算结果表明馈电高度 g 对天线的阻抗匹配影响最大,其它的参量如折合面宽度 d 、贴片宽度 w 、天线高度 H_1 、接地板的面积 $L \times W$ 也都对阻抗匹配有一定的影响.

图 3~8 是所设计天线的 $|S_{11}|$ 随天线结构参数变化情况的计算结果,分析时每次只改变一个天线参数. 图 3 为天线 $|S_{11}|$ 随天线高度 H ($H = H_1 = H_2$) 的变化规律,图 4 为地板和天线的间距 g 对 $|S_{11}|$ 参数的影响,图 5 为折合面宽度 d 的改变对天线 $|S_{11}|$ 参数的影响,图 6 为单边介质基板超出天线的宽度 l 对天线 $|S_{11}|$ 参数的影响,图 7 为贴片宽度 w 对天线 $|S_{11}|$ 参数的影响,图 8 为接地板长度 L 对天线 $|S_{11}|$ 参数的影响.

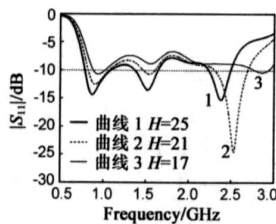


图 3 $|S_{11}|$ 随 H 变化的计算结果
($g=5\text{mm}$, $d=12\text{mm}$,
 $w=46\text{mm}$, $l=5\text{mm}$,
 $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

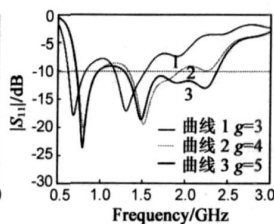


图 4 $|S_{11}|$ 随 g 变化的计算结果
($H=25\text{mm}$, $d=25\text{mm}$,
 $w=46\text{mm}$, $l=5\text{mm}$,
 $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

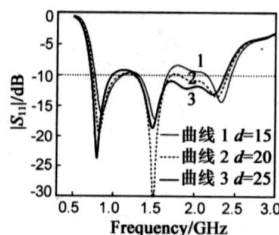


图 5 $|S_{11}|$ 随 d 变化的计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $w=46\text{mm}$, $l=5\text{mm}$,
 $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

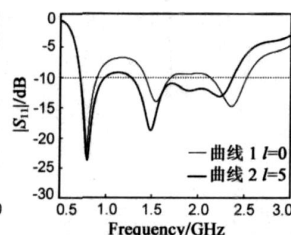


图 6 $|S_{11}|$ 随 l 变化的计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $d=25\text{mm}$, $w=46\text{mm}$,
 $L=100\text{mm}$)

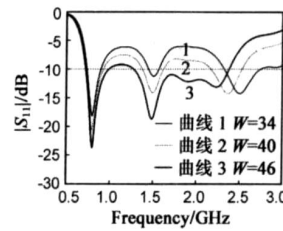


图 7 $|S_{11}|$ 随 w 变化的计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $d=25\text{mm}$, $l=5\text{mm}$,
 $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

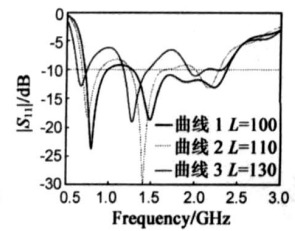


图 8 $|S_{11}|$ 随 L 变化的计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $d=25\text{mm}$, $w=46\text{mm}$,
 $l=5\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

由图 3~8 可以看出:(1)增加天线高度 H 能使最低可用工作频率 f_1 向低端扩展,并可出现多个工作频带;(2)增加地板和天线的间距 g ,最低可用工作频率 f_1 有所提高,但最高可用工作频率上移明显,天线工作带宽显著变宽,在 $g=5\text{mm}$ 时达到最优;(3)折合面宽度 d 的增大,使最低可用工作频率 f_1 有所降低,高频段 $|S_{11}|$ 改善明显,展宽了天线工作频带;(4)单边介质基板超出天线的宽度 l 增大时,可使高频段 $|S_{11}|$ 得到改善,但可用频率上限有所降低;(5)贴片宽度 w 增大时,天线上、下可用频率之间的可用带宽明显增加,可见 w 是决定天线性能带宽的关键因素之一;(6)接地板长度 L 的增加,可使天线的最低可用工作频率降低,高频段 $|S_{11}|$ 变差,频带宽度变窄.

通过以上大量的计算和优化,最后得到天线各部分的优化尺寸如表 1 所示. 根据表 1 的天线尺寸我们计算得到天线的 $|S_{11}|$ 和辐射方向图,分别如图 9 和图 11 所示.

表 1 天线各部分优化后的尺寸(单位:mm)

符号	H_1	H_2	d	g	L	l	W	w	D	S
尺寸	25	25	25	5	100	5	56	46	4	2

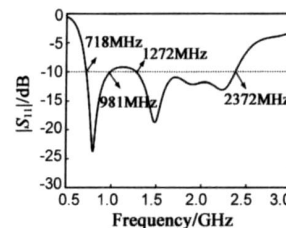


图 9 优化后天线 $|S_{11}|$ 的计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $d=25\text{mm}$, $w=46\text{mm}$,
 $l=5\text{mm}$, $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

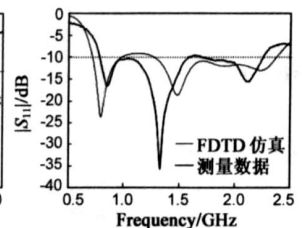


图 10 天线 $|S_{11}|$ 的测量与计算结果
($g=5\text{mm}$, $H=25\text{mm}$,
 $d=25\text{mm}$, $w=46\text{mm}$,
 $l=5\text{mm}$, $L=100\text{mm}$, $W=56\text{mm}$)

图 10 为优化后的天线 $|S_{11}|$ 测量值与计算值的比较,从中可以看出 FDTD 方法计算结果和测量结果基本一致. 实际测试得到天线工作频段为 (808MHz~1000MHz)、(1110MHz~1610MHz)、(1680MHz~2252MHz),带宽达到 1274MHz, $|S_{11}|$ 均小于 -10dB .

4 结论

本文设计并分析了一种新型折合平面单极子手机天线,采用时域有限差分法对该天线进行了计算,分析了几何参数改变对其性能的影响,给出天线的优化结构尺寸. 该天线具有

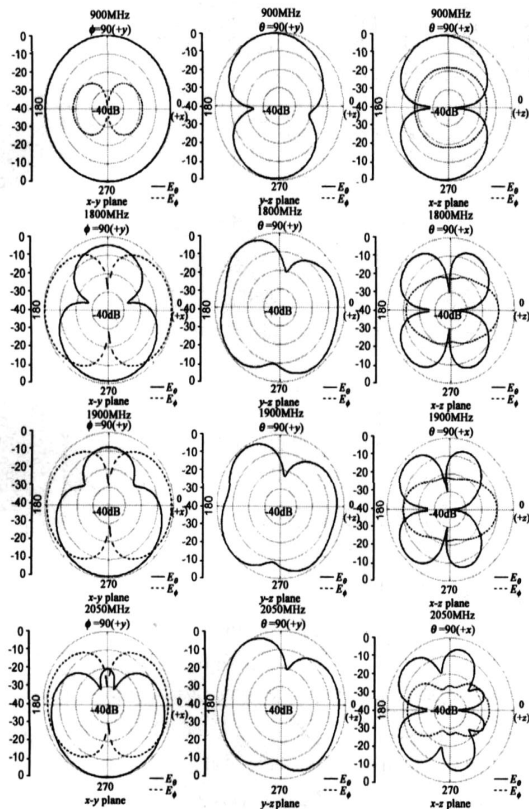


图 11 天线在 900MHz、1800MHz、1900MHz、2050MHz 时的辐射方向图

结构简单、频带宽、易与电路集成等特点。测试结果表明该天线具有很宽的工作频段,能够满足当前和第三代移动通信系统对天线的要求。

参考文献:

[1] Kir-lu Wong. Planar Antennas for Wireless Communications

[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

[2] C Soras, M Karaboikis, G Tsachtsiris, V Makios. Analysis and design of an inverted-F antenna printed on a PCMCIA card for 2.4GHz ISM band[J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 2002, 44(1): 37 - 44.

[3] S Y Lin. A low-profile folded planar monopole antenna for wireless communication[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2003, 36(1): 46 - 48.

[4] S Y Lin. Multiband folded planar monopole antenna for mobile handset[J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 2004, 52(7): 1790 - 1794.

[5] Lee Gwo-Yun, Yeh Shih-Huang, Wong Kin-Lu. A broadband folded planar monopole antenna for mobile phones [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2002, 33(3): 165 - 167.

[6] 葛德彪, 闫玉波. 电磁波时域有限差分方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
Ge De-biao, Yan Yu-bo. The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetic Waves[M]. Xi'an: Xi'dian Press, 2002. (in Chinese)

[7] A Taflove. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method[M]. Artech House, 2000.

作者简介:

李增瑞 男, 1963 生于内蒙古卓资县, 北京交通大学博士研究生, 中国传媒大学教授, 硕士生导师。主要研究方向为宽频带微带天线、广播电视天线、微波滤波器、复杂目标的电磁散射和高效电磁场数值方法等。

姜开波 男, 1981 生于辽宁沈阳, 中国传媒大学电磁场与微波技术专业硕士研究生。主要研究方向为微带天线设计、FDID 算法。