

文章编号 10427-7104(2005)01-0061-04

# \*FDTD方法分析多带无线系统中的宽带单极性天线

王 瑞, 陈晓光

(复旦大学 通信科学与工程系, 上海 200433)

**摘要:**平面单极性天线可用来提供很高的的阻抗带宽特性,应用于目前或将来的宽带系统中。采用三维时域有限差分法(FDTD)对平面单极性天线周围空间的电场及磁场的分布进行可视化计算,并计算出该天线在不同频率下的输入阻抗和反射损耗,从而得到天线的工作带宽,以验证设计原理。

**关键词:**通信技术;平面单极性天线;三维时域有限差分法;可视化计算;工作带宽;反射损耗

中图分类号:TN 821<sup>+</sup>.7; TN 828.6 文献标识码:A

时域有限差分法(finite-difference time-domain,FDTD)是近年来发展很快的一种电磁场数值计算方法。它将计算空间和时间分别分成若干网格和时间步长,从而将 Maxwell's 方程转换成一系列的差分方程,通过迭代计算每个格点在不同时间步长上的电场及磁场,得到整个空间的电磁场分布<sup>[1]</sup>。为了在数值上模拟一个开放式系统,用完备匹配层(PML)吸收边界条件来截断计算区域<sup>[2]</sup>。PML 的基础相当于在 FDTD 网格的外边界加上人为的吸收介质,介质的波阻抗与入射波的入射角和频率无关,将吸收边界中的场分量进行分解,便可以独立地分析每个场分量的电导率和电磁率。当介质的特性阻抗等于真空中的特性阻抗时,平面波穿过真空与介质的交界面时不会有反射产生。PML 与其他吸收边界相比,可以大大减少计算空间,从而节省大量计算机资源,计算的速度和精度大大提高。为了达到高性能,PML 区应包括多层<sup>[3]</sup>。

在目前和将来的通信系统中,对天线设计有很高的要求。使用在移动及无线通信中的单极性天线系列是目前最流行的天线之一,它具有低成本、高工作带宽等特性<sup>[4]</sup>。其中天线的输入阻抗及反射损耗是重要的参数,对它们的计算方法始终受到人们的关注。

本文从有源区的 Yee 氏差分方程出发,基于带 PML 吸收边界的三维 FDTD 方法,对方形辐射元的平面单极性天线的周围空间的电场及磁场分布情况进行了可视化计算,并计算出该天线的输入阻抗和反射损耗,进一步得到了天线的工作带宽。

## 1 基于 FDTD 法的平面单极性天线的算法

方形辐射元的平面单极性天线结构如图 1 所示。辐射元是边长为 3 cm 的正方形铜片,反射板是边长为 10 cm 的正方形铜片,天线元与底面距离 2 mm,馈线直径 1 mm。天线的馈点选在馈线的中点处进行模拟。

设馈点的位置为( $i, j, k$ ),由 FDTD 方法,首先计算天线的时域电磁场,可得馈点处  $E_2^n(i, j, k)$ ,  $H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k)$  和  $H_y^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k)$ ,进而得到天线输入端的时域电压和电流<sup>[5]</sup>。

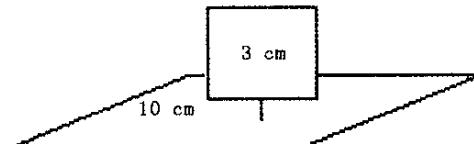


图 1 方形辐射元的平面单极性天线结构

Fig. 1 Structure of the square planar monopole antenna

\* 收稿日期:2003-12-16

作者简介:王 瑞(1979—),女,硕士研究生 通讯联系人陈晓光副教授。

$$U_z^n = -E_z^n(i, j, k) \Delta z, \quad (1)$$

$$I_z^{n+1/2} = \Delta x [H_x^{n+1/2}(i, j-1, k) - H_x^{n+1/2}(i, j, k)] + \Delta y [H_y^{n+1/2}(i, j, k) - H_y^{n+1/2}(i-1, j, k)]. \quad (2)$$

对时域电流和电压进行快速傅利叶变换(FFT),得到频域的电流  $I(\omega)$  和电压  $V(\omega)$ ,则天线的输入阻抗的频率特性  $Z_{in}(\omega) = V(\omega) / I(\omega)$ .

在 Yee 氏算法中,考虑到  $E$  和  $H$  位于网格的不同位置,相差  $\Delta z/2$ ,并且  $E$  和  $H$  计算时取在不同的时间步长上,相差  $\Delta t/2$ ,则输入阻抗的改进算法为,

$$Z_{in}(\omega) = \frac{2V_k(\omega)}{[I_k(\omega) + I_{k+1}(\omega)]} e^{j\omega\Delta t/2} \left( \sqrt{\frac{I_k(\omega)}{I_{k+1}(\omega)}} + \sqrt{\frac{I_{k+1}(\omega)}{I_k(\omega)}} \right). \quad (3)$$

从而得到输入端的反射损耗,

$$S_{11}(\omega) = \frac{Z_{in}(\omega) - Z_c}{Z_{in}(\omega) + Z_c}. \quad (4)$$

## 2 计算结果及分析

该天线用  $Z_c = 50 \Omega$  的同轴线馈电,吸收边界 PML 的厚度为 8 层,网格取  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta = 1 \text{ mm}$ ,时间步长  $\Delta t = \Delta/(2c)$ , $c$  为真空中的光速,场分布图的计算时间步数  $n = 200$ ,阻抗及反射损耗的计算时间步数  $n = 1024$ . 计算空间(不计 PML 厚度)为  $120 \times 120 \times 50$  个网格. 设天线的电压源为一高斯脉冲,

$$\psi(t) = A \exp[-g^2(t - t_0)^2];$$

其中,  $A$  为高斯脉冲的幅度,取  $A = 1 \text{ V}$ ,常数  $g = \frac{10^{11}}{3}$ ,时延  $t_0 = 3/g$ . 调节  $g$  值可以调节脉冲的宽度,使得在频域内能够得到较宽的带宽激励. 图 2 所示(a)为时域内的高斯脉冲(b)和(c)为频域内的幅度及相位. 从图 2 中可知,该激励源可以在  $0 \sim 10 \text{ GHz}$  以内提供很好的激励.

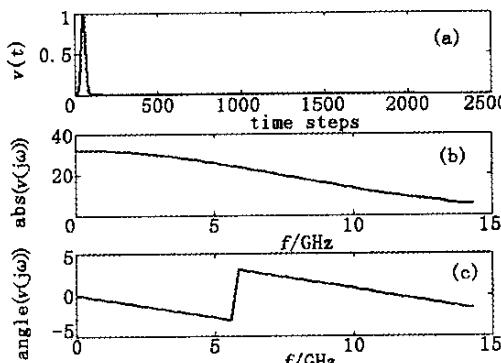


图 2 作为激励源的高斯脉冲

Fig. 2 Characteristics of the Gaussian pulse

### 2.1 平面单极性天线的电磁场分布的可视化计算

设天线的激励源为如上的高斯脉冲,分别以  $n = 110$ ,  $120$  为时间步长,以馈点所在的  $xoy$  面的电场分量  $E_x$  及  $yoz$  面的磁场分量  $H_z$  为例,进行电场及磁场分布的可视化计算,结果如图 3 所示.

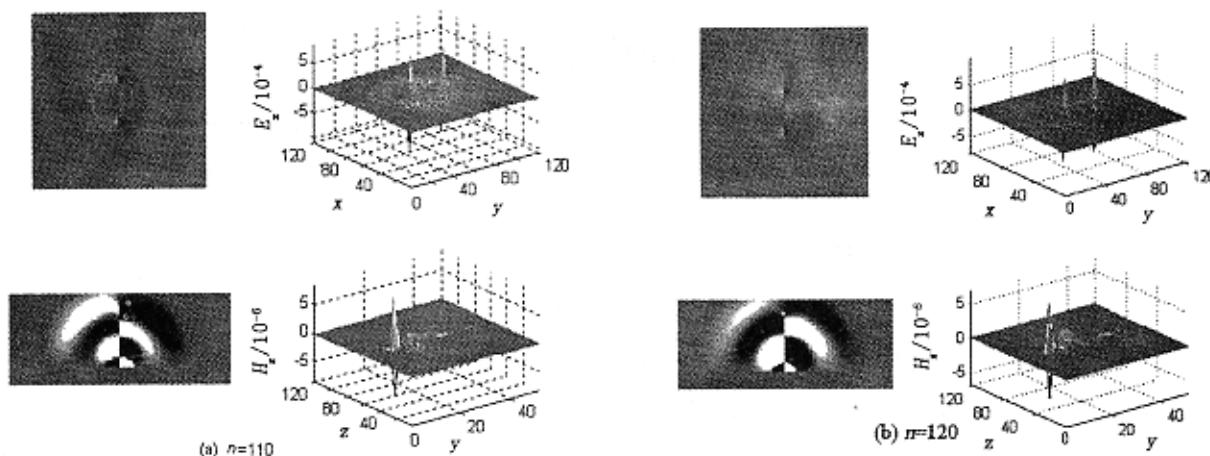


图 3 平面单极性天线在不同时间步长上电场分量  $E_x$  及磁场分量  $H_z$  的可视化计算

Fig. 3 Visible calculations of  $E_x$  and  $H_z$  at different time steps

由图3可以看出,电场分量 $E_x$ 和磁场分量 $H_z$ 在方形辐射元两侧成对称分布。电场分量 $E_x$ 的方向垂直于天线辐射元传播,而磁场分量 $H_z$ 的方向沿着天线的辐射元传播。并且由图中看出,当电磁波传播到计算空间的边界处时,没有发生反射现象,仍然保持原有波形。因为在计算空间外面加了8层的PML吸收边界,从而在数值上能够模拟一个无穷大的开放式系统。

## 2.2 平面单极性天线的输入阻抗及反射损耗

首先计算天线的时域电磁场,天线输入端的时域电流和电压,然后对时域电压和电流进行快速傅利叶变换,得到频域的电流和电压,进而得到天线的输入阻抗及反射损耗,如图4所示。

由图中计算结果可以看出,天线的输入阻抗在很宽的频率区间内是接近 $50\Omega$ 的特性阻抗的,因此其反射损耗低于 $-10\text{ dB}$ 的工作带宽从 $0.7\sim4.1\text{ GHz}$ 提供了较好的带宽特性。测量采用Agilent公司的2端口射频网络分析仪E5070B,频率的测量范围 $300\text{ kHz}\sim3\text{ GHz}$ ,所以本文的测量结果仅在 $3\text{ GHz}$ 以内。从图中可以看出,计算值和测量值在 $1\sim3\text{ GHz}$ 的高频段的带宽一致性较好;而在低频段,由FDTD算法稳定性所决定的采样频率较高,所以要得到较好的低频特性,必须取得相对较多的采样点,而采样点的数目受到计算机内存的限制,使得低频段的频率分辨率较低,所以计算值和测量值的低频段存在一定的误差。

采用带PML的FDTD理论,分析了宽带的平面单极性天线,通过FDTD法实现了天线周围电磁场分布的可视化计算,并结合电磁场理论和信号处理方法,计算出了该天线在 $0\sim5.3\text{ GHz}$ 微波段的阻抗特性和反射损耗,计算结果与测量值的一致性较好,为工程和设计人员提供了有用的参考。

## 参考文献:

- [1] Yee K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1966, AP-14: 302-307.
- [2] Berenger J P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves [J]. *Computational Physics*, 1994, 114: 185-200.
- [3] Chew W C, Weeden W H. A 3D perfectly matched medium from modified Maxwell's equations with stretched coordinates [J]. *Microwave Opt Technol Lett*, 1994, 7(13): 599-604.
- [4] Ammann M J, Chen Z N. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems [J]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2003, 45(2): 146-150.
- [5] Zweki M, Abd-Alhameed R A, Mangoud M A, et al. Broadband analysis of finite microstrip patch antenna structure using FDTD [EB/OL]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/7380/20047/00928038.pdf>, 2001-04-17/2003-09-20.

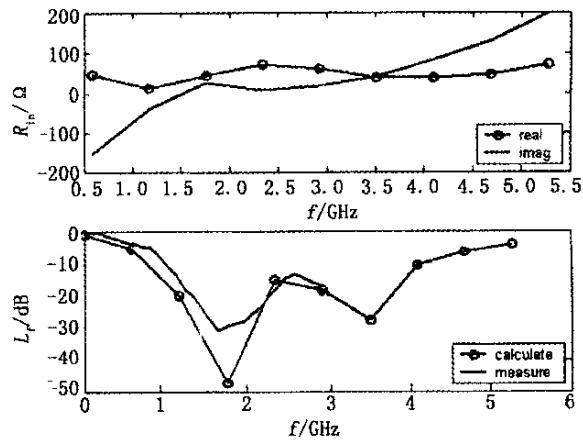


图4 平面单极性天线的输入阻抗和反射损耗

Fig. 4 The input impedance and return loss of planar monopole antenna

# FDTD Analysis of Wideband Monopole Antennas for Multi-band Wireless Systems

WANG Rui , CHEN Xiao-guang

( Department of Communication Science and Engineering , Fudan University , Shanghai 200433 , China )

**Abstract :** The planar monopole antenna provides extremely high width impedance characteristics which has been proposed for modern and future wideband wireless applications. In the present work by using the three-dimension finite-difference time-domain( FDTD ) method , the visible calculation of the distribution of electric and magnetic field around the antenna is performed , meanwhile the input impedance and return loss of the antenna are also calculated. Thus the impedance bandwidth of the antenna is obtained.

**Keywords :** planar monopole antenna ; 3d FDTD ; visible calculation ; impedance bandwidth ; return loss

~~~~~  
(上接第 60 页)

# Fast Learning Algorithm of Small Multi-input Fuzzy Neural Network Structure

WU Yan-Hui , CHEN Xiong

( Department of Electronic Engineering , Fudan University , Shanghai 200433 , China )

**Abstract :** The algorithm of rule extraction is applied to accelerate learning process and extend the application of FNN to overcome the dimensionality problem of fuzzy neural network( FNN ) in multi-input fuzzy system through decreasing the number of rules and establishing small FNN structure. Competitive algorithm is used to optimize the parameters of membership function in structure learning before rule extraction. In parameter learning ,the weights of FNN are adjusted by gradient algorithm. The simulation results show that the proposed method works effectively.

**Keywords :** fuzzy system ; neural network ; fuzzy neural network ; competitive algorithm ; structure learning ; parameter learning

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>