

# 复杂平台上短波天线特性的 FDTD/MOM混合法分析

周波 邢锋 楼建东

解放军信息工程大学 河南 郑州

**摘要：**短波天线和周围环境平台等任意散射体之间相互影响，所以计算短波天线上的电流分布和辐射方向图是非常困难。时域有限差分法(FDTD)可以处理结构复杂、非均匀介质情况，而矩量法(MoM)擅长处理自由空间中复杂天线的辐射问题，因此可以把这两种方法相结合来处理此问题。原问题等效为两个结构，天线和环境结构。用MoM分析天线结构，FDTD分析环境结构，以偶极天线算例验证了此方法的精确性。

**关键字：**时域有限差分法； 矩量法； 短波天线

## FDTD/MoM Hybrid Technique for Analyzing Shortwave Antenna in Complex Platform

Zhou Bo, Xing Feng, Lou Jian-dong

PLA Information Engineering University , Zhengzhou Henan

**Abstract:** As there is the complex interaction between the shortwave antennas, the ground, environment platform and any buried scatterer, calculating the current distribution and radiation patterns for shortwave antennas is a difficult problem. The finite-difference time-domain (FDTD) technique is well suited for modeling complex fields in heterogeneous media; however the method of moments (MoM) is well suited for modeling complex antennas in free space, so these two methods can be combined. The original problem is equal to two coupled problems: the antenna geometry and the environment geometry. Using MoM to model the antenna and FDTD for the environment problem, result for a dipole case is presented, that demonstrates the accuracy of this hybrid technique.

**Key Words:** finite-difference time-domain method; moment method; shortwave antenna

### 1 引言

在电磁辐射问题中建模短波天线是极大的挑战。其中最大的困难在于它以多种方式与环境有关，而环境同时对短波天线发送或接收的信号又有显著的影响。由于周围环境通常是一种有耗媒质，所以诸如像矩量法这样的积分方程法就很不适和这些几何结构。这是由于它们要么需计算复杂的格林函数，要么需大量的未知量对环境进行建模。

基金项目：863基金资助（2002AA833030）。

时域有限差分法 (FDTD) [1]已被证实比较适合复杂天线中很多特殊的问题。由于FDTD是一种部分差分方程法，所以地面等环境的存在不会对需确定的未知量个数产生严重的影响。用这方法对靠近或远离空地分界面的短波天线进行建模已有很多年了。在此期间，FDTD在处理短波天线普遍的建模难题方面已取得了很大进展，例如包括处理分层地面平面波入射场的能力、散射掩体近远场变换的能力，而且还改进了吸收边界条件。

尽管在应用FDTD建模方面已取得很大进展，但还存在一个重要问题：尺寸较大的短波天线的建模。尽管FDTD很适合模拟像偶极子这样简单的天线，但

是对于不易用正方形网格处理的天线还不适合。关于线面以非正交角结合的复杂天线可以用亚网格或曲面形式来建模。然而，这些方法会使FDTD数值计算方面更复杂，但还没有像矩量法（MoM）[2]等积分方程那样的精度。

本文介绍了一种结合FDTD和MoM建模短波天线的混合方法。此法用等效原理把短波天线几何结构分为两个子结构，这样就很容易分别用FDTD和MoM进行建模。然后，边界场的信息由快速收敛的迭代技术从这些子结构之间穿过，最终能正确的建模复杂环境中天线的性能，得到一个全波解，验证这种方法数值结果的精度。

## 2 混合方法

考虑图1中的短波天线结构。其中天线安装在包含掩体的车辆平台上。为应用谢昆诺夫效原理，在天线上设置一个镜像闭合面 $s$ （惠更斯面）。建立两个关联的等效问题：一个等效为 $s$ 内，另一个等效为 $s$ 外，如图1所示。

内问题（天线结构）包含有原天线， $s$ 内原来的场和 $s$ 外的零场。除了天线上的原来的源，还需要在 $s$ 面上设置表面电流 $-J_s$ 和 $-M_s$ ，分别由(1)、(2)确定。

$$\underline{\underline{J}}_s = \underline{n} \times \underline{\underline{H}} \quad (1)$$

$$\underline{\underline{M}}_s = \underline{E}_s \times \underline{n}$$

同样，外问题（车载结构）含有原来车辆的几何结构， $s$ 外的原场和 $s$ 内的零场。需要在 $s$ 上设置表面电流 $J_s$ 和 $M_s$ ，其中 $\underline{E}, \underline{H}$ 是原问题中沿 $s$ 上的电场和磁场。接着，假设天线和车辆没有接触，以便于惠更斯面和空气分界面处不产生边界。

把图1中原来的几何结构分成两个子结构，因车载结构不包括天线，且天线结构也不包括地面和散射掩体，所以这样就具有明显的优势。

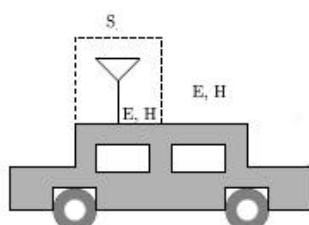


图 1 原结构

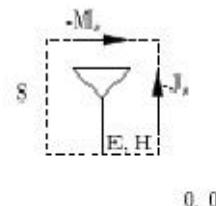


图 2 天线结构

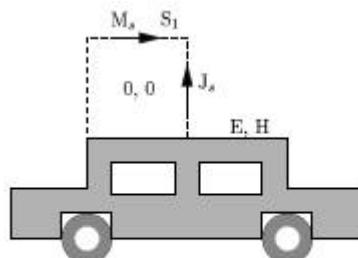


图 3 车载结构

然而，这种划分必须以求出每个子结构的表面电流为代价，以便于对两个子结构中的每一个都能进行建模。处理这些电流有很多方法，但通常可划分为直接法和迭代法。

典型的直接法是用一定量的运算来获得精确解。例如，用直接矩阵方程积分法解一个线性系统方程。对于这种两个子结构的问题，直接法要求惠更斯面上的未知电流在两个子结构上都是未知量。在文献[1]中可以找到此方案的例子，其中矩量法用于两个有小孔边界的子结构，结果得到一个很大的系统方程。

然而，选择迭代法解短波天线模型中的发射场和散射场，可以和直接法一样有效。此选择有两个原因：一是由于在惠更斯面上除了未知电流、磁流外，还增加了很多天线结构中的未知量。不像[3]中，两个区域边界都是电小尺寸，为了方便建模，其中的惠更斯面必须完全包围短波天线，这样此范围就可能有很多波长。二是在标准的MoM码中增加表面电流和磁流等未知量需要明显的增加额外的编码[例如电磁场数值计算码（NEC）]。

为了避免直接法的这些问题，用迭代法对每个子结构进行交替分析，在迭代过程中共享表面电流信息。此方案只经过有限次的迭代就获得十分精确的结果。

图4显示了这种迭代方案的流程图。方案开始是用MoM分析天线，并设表面电流、磁流的初始值为0。在惠更斯面内分别计算  $\hat{E}, \hat{H}$ ，得表面电流  $\hat{J}_{s1}$  和表面磁流  $\hat{M}_{s1}$  的一阶近似。然后把这些电流作为地面散射体结构中的源电流。在惠更斯面外，计算  $\hat{H}, \hat{E}$ ，得到二阶近似  $\hat{J}_{s2}, \hat{M}_{s2}$ ，然后再把二阶近似作为天线结构MoM分析时的源电流与电压源和电流源一起直接激励天线。接着在惠更斯面内计算，可得到三阶近似  $\hat{J}_{s3}, \hat{M}_{s3}$ 。

按此程序，可更新两个子结构中的表面电流和场，一直收敛到精确值。由于天线和车辆之间的相互影响，等效电流在一次次的迭代中产生了变化，且随着迭代的推进，精度也随之提高了。通过比较每次迭代后得到的场和表面电流可验证其收敛性，也可以通过检查每一个结构中零场是否的确可忽略检验其收敛性。实验已证明所遇见的例子都表现出了足够的收敛性。

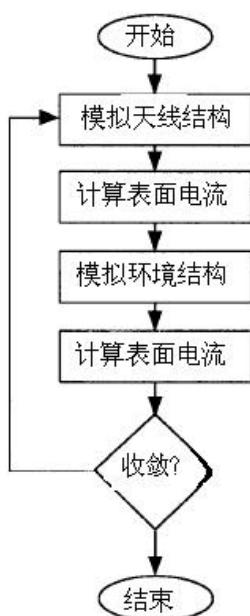


图 4

### 3 数值结果

为了对完全混合方法进行一个简单的验证，考虑图5所示的天线结构，其内倾斜放置了一个0.6m长的细线偶极子，与z方向的夹角为30°。偶极子中心距离地面0.56m，相对介电常数为4.0，且无耗。其中心由频率为

150MHz的连续波电压激励。

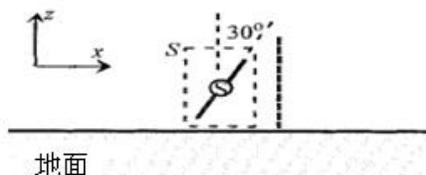


图 5

采用混合方法模拟此结构，选择惠更斯面体积范围为  $0.4 \times 0.4 \times 1.6\text{m}$ ，对称地放置在偶极子的周围。对于地面结构，选用  $70 \times 50 \times 70$  的FDTD数值网格。文中还用到一种广泛应用的MoM码——电磁场数值计算码（NEC）来模拟天线结构。天线馈电电压源是1.5ns的高斯脉冲。为了充分考虑地面和天线之间的多种影响，FDTD计算估计要40ns。

图6显示了所计算天线电流分布作为迭代数目的函数，同时也标出了用NEC码计算出的结果。可以看出，迭代方法的结果收敛很快，由于此地面无耗，所以对天线上电流分布影响不大。尽管如此，从图6还可明显的看到由地面影响产生的非对称电流，和期望值一致。

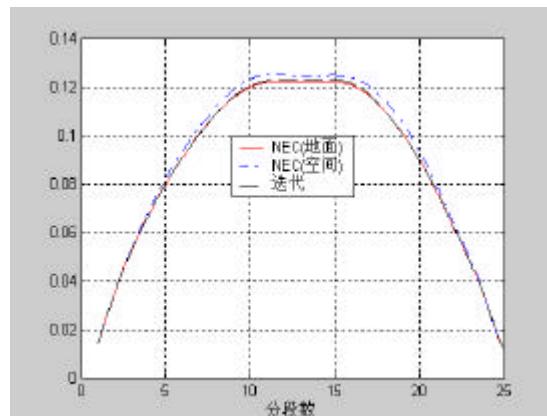


图 6

### 4 结论

文章介绍了一种模拟存在于复杂平台中短波天线的混合方法。此方法可用两种互不相似的电磁场数值方法来对一个复杂结构的不同方面进行建模。因为此法避免计算复杂的格林函数，所以也能通过简易的途径来模拟各项异性环境中天线的性能。

因为普通的电磁码只能适合于自由空间中的天

线特性，而不适用于各项异性的环境，所以混合方法极大的增加了普通电磁码可以建模的天线范围。而且，混合方法还易于扩展，通过设置多天线子结构从而对多天线系统进行建模。大多数短波天线系统数值建模中，对天线的模拟通常是比较薄弱的，所以这种混合方法大大增强了实际的短波天线建模。

## 参考文献

- [1] 葛德彪,闫玉波著. 电磁场时域有限差分法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社.2002.
- [2] R. H林登著, 王尔杰等译.计算电磁场的矩量法[M]. 国防工业出版社.1981.
- [3] Gaetano M ,Sergio F ,Fernando B.A hybrid FDTD-MoM procedure for the modeling of electromagnetic radiation from cavity-backed apertures[J]. IEEE Trans on AP,2001, 53 (1) : 302 - 305.
- [4] A. Rubio Bretones, R. Mittra, R. G'omez Mart'in. A Hybrid Technique Combining the Method of Moments in the Time Domain and FDTD.IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1998,8(8):281-2

## 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>