

基于时域有限差分法的电磁仿真软件研制

闫淑辉, 王秉中, 易 春, 张秋菊

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】研制了一套用于场分析的电磁仿真软件。该软件基于时域有限差分法,能处理曲面边界目标,用户通过Visual Basic编写的界面输入物体结构参数、设置源及边界条件,并采用Fortran编写的计算模块调用VB生成的数据文件来进行仿真运算。通过同轴天线和谐振腔的模拟仿真对软件进行了验证测试,效果良好。

关 键 词 电磁仿真; 软件; 时域有限差分法; 曲面

中图分类号 TN929.5

文献标识码 A

Development of an EM Simulation Software Based on the FDTD Method

Yan Shuhui, Wang Bingzhong, Yi Chun, Zhang Qiuju

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract An electromagnetic simulation software is developed. The software is based on the finite-difference time-domain (FDTD) method and can handle objects with curved surfaces and edges. The program includes a Visual Basic (VB) graphical user interface for graphically inputting object geometries and setting source and boundary conditions, and uses Fortran language to compute with a data file from VB. Examples that show the applications of the software for antennas and resonators are presented, and the results show good agreement with those reported in the published papers.

Key words electromagnetic simulation; software; finite-difference time-domain method; curved surface

随着计算方法的成熟和计算机性能的不断提高,目前基于时域有限差分法的电磁仿真软件已有很多应用在各个领域中,主要分为通用和专用软件。应用较为广泛的通用软件有XFDTD、QFDTD90、EMU/fdtd、FDTD solver等,专用软件则有EMA和Apsim系列软件、EZ-FDTD、Lc2.9等。但功能强大的这些通用性程序都是商业的,而且都集中于国外。国内尽管也在做时域有限差分(Finite-Difference Time-Domain, FDTD)算法的研究,但是只限于其算法某一方面的理论研究,还没有一套完整的场分析软件包。基于此本文展开了这项研制工作,编写了时域有限差分法的电磁仿真软件GEMS。并通过一些仿真实例来对软件进行测试验证。

1 软件介绍

该软件目前版本具有如下9个特点:1) MS-WINDOWS,鼠标驱动的图形界面;2) 可对真正的三维金属和非绝缘介质结构进行建模;3) 多种二维和三维视图,以对所分析的结构得到最好的视觉理解;4) 可对介质非矩形及金属非矩形结构进行建模仿真;5) 具有自动网格生成功能、网格优化功能和对输入的几何结构

收稿日期:2003-03-13

基金项目:教育部博士点基金资助项目(20010614003);国家自然科学基金资助项目(60371008);教育部科学技术研究重点资助项目(104166)

作者简介:闫淑辉(1979-),女,硕士,主要从事电磁仿真软件方面的研究。

进行单独网格生成功能；6) 不同边界条件的实现，包括PML，MUR1，MUR2；7) 集成的预处理和后处理功能，包括S参数提取和时域信号显示；8) 辐射方向图的计算，通过一次仿真即可得到宽带频谱的功能；9) 平面波激励和SAR-计算功能。

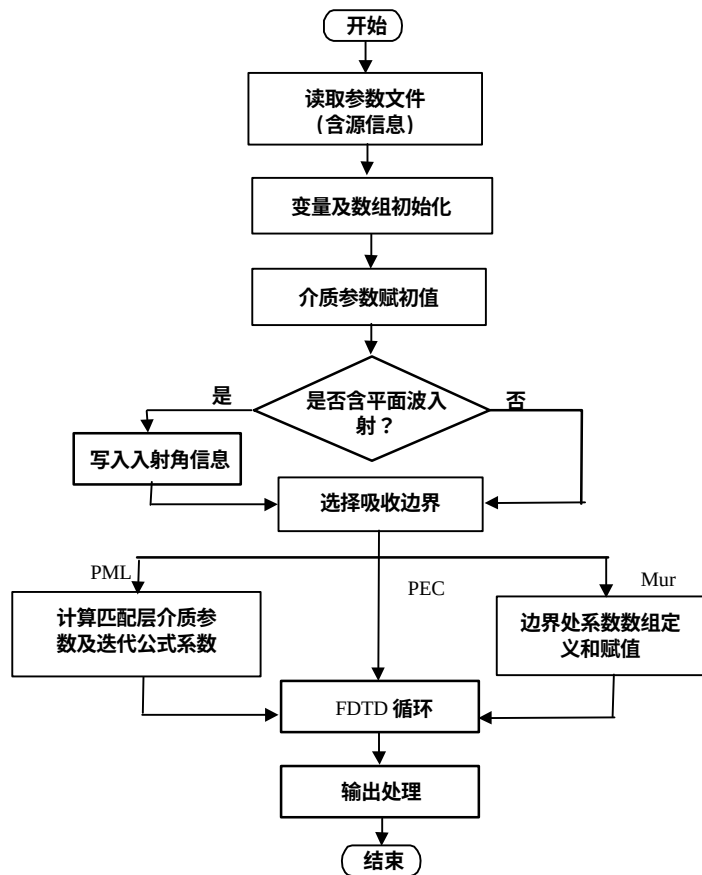


图1 计算模块流程

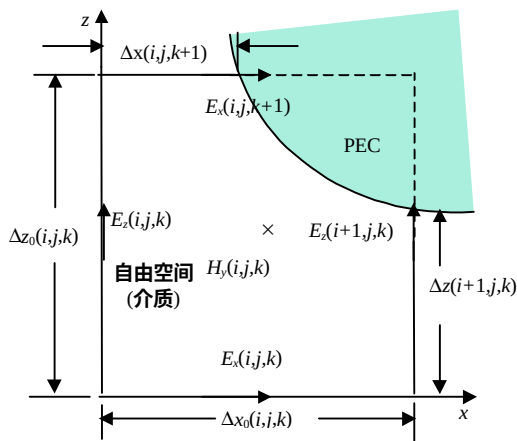


图2 共形网格

有关FDTD法的基本原理和相关技术可参考文献[1]。软件中利用VB的option控件让用户根据需要选择合适的边界条件，包括完全匹配层PML、MUR1阶、MUR2阶及理想电壁PEC和理想磁壁PMC两种最简单原始的截断边界条件。时域有限差分法计算天线辐射问题直接获得的是辐射近场，如果要计算天线的辐射方向特性需要由辐射远场来计算，因此在软件中添加了从辐射近场到远场的转换。

1.1 总体设计

软件共包含3个模块：1) 用户图形输入模块；2) 计算模块；3) 后处理模块。Fortran编写的核心计算模块，具体可以分为以下子模块：1) 读取参数文件模块；2) 给变量分配内存并初始化变量；3) 根据参数文件给FDTD仿真空间中的介电常数，电导率初始化；4) 边界条件处理；5) 源的加入；6) FDTD循环；7) 输出处理。

程序运行的步骤如图1所示。从计算模块流程图可以看出，程序中的各模块功能单一，上层模块和下层模块之间只存在调用与返回的关系。这样，对某些模块的改动不会影响到其他的模块，程序的可移植性好，对以后

软件的升级也带来方便。

1.2 曲面的处理

FDTD建模中一个重要的热点就是曲面边界的模拟。当然，只要计算机资源足够，任何曲线边界都可以简单地用直角阶梯来处理。但事实上计算机资源是有限的，无法实现，所以需要提出一些处理曲面边界的方法，本文就金属与介质曲面两种情况的处理方法如下。

1.2.1 金属(良导体)曲面的模拟

图2所示金属曲面在Yee网格所建立的空间模型，由图可以看出在处理曲面导体时由于导体边界与网格边界无法吻合，就需要做一些近似处理，软件中采用的是一种共形时域有限差分法，在该算法中，电场分量仍采用标准FDTD公式不变，磁场

分量的FDTD公式则需要修正。根据安培环路定理， H_y 修正公式为

$$H_y^{n+1/2}(i,j,k) = H_y^{n-1/2}(i,j,k) + \frac{\Delta t}{m_y(i,j,k)} (E_z^n(i,j,k)\Delta z_0(i,j,k) - \Delta z(i+1,j,k)E_z^n(i+1,j,k) + E_x^n(i,j,k+1)\Delta x(i,j,k+1) - \Delta x_0(i,j,k)E_x^n(i,j,k)) / \Delta x_0(i,j,k)\Delta z_0(i,j,k) \quad (1)$$

式(1)中的变量如图2所示，其他磁场分量的差分格式可类似给出。可以看出，这里还是沿着整个网格来做环

路积分,用的还是整个网格的面积,这样就避免了计算畸形网格形状的面积,同样也改进了阶梯网格近似带来的向相邻网格借用数据所造成的计算误差。

1.2.2 介质曲面的模拟

对于介质体曲面的Yee网格空间模型,为得到网格的电磁参数,在程序中采用了线性插值的方法^[2],定义有效介电常数为

$$e_x^{eff}(i, j, k) = \frac{\Delta x_2(i, j, k)e_2 + (\Delta x - \Delta x_2(i, j, k))e_1}{\Delta x(i, j, k)} \quad (2)$$

$$e_y^{eff}(i, j, k) = \frac{\Delta y_2(i, j, k)e_2 + (\Delta y - \Delta y_2(i, j, k))e_1}{\Delta y(i, j, k)} \quad (3)$$

式中 变量定义如图3所示,场分量表达式为

$$E_x^{n+1}(i, j, k) = E_x^n(i, j, k) + \frac{\Delta t}{e_x^{eff} \Delta y} \{ H_z^{n+1/2}(i, j, k) - H_z^{n-1/2}(i, j-1, k) \} - \frac{\Delta t}{e_x^{eff} \Delta z} \{ H_y^{n+1/2}(i, j, k) - H_y^{n-1/2}(i, j, k-1) \} \quad (4)$$

$$E_x^{n+1}(i, j+1, k) = E_x^n(i, j+1, k) + \frac{\Delta t}{e_{x1} \Delta y} \{ H_z^{n+1/2}(i, j+1, k) - H_z^{n-1/2}(i, j, k) \} - \frac{\Delta t}{e_{x1} \Delta z} \{ H_y^{n+1/2}(i, j+1, k) - H_y^{n-1/2}(i, j+1, k-1) \} \quad (5)$$

式中 电场分量 $E_x(i, j, k)$ 和 $E_y(i, j, k)$ 跨越两种介质,所以采用有效介电常数;而电场分量 $E_x(i, j+1, k)$ 和 $E_y(i+1, j, k)$ 均处在单一介质里面,所以采用单边所在介质的介电常数。

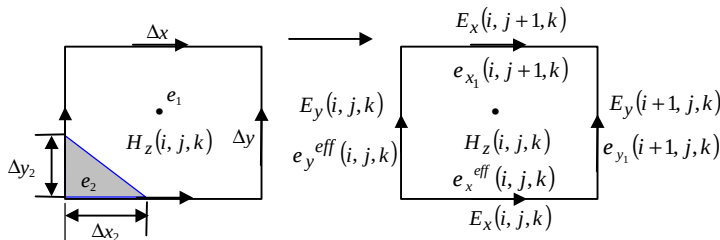


图3 线性插值

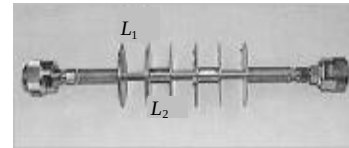
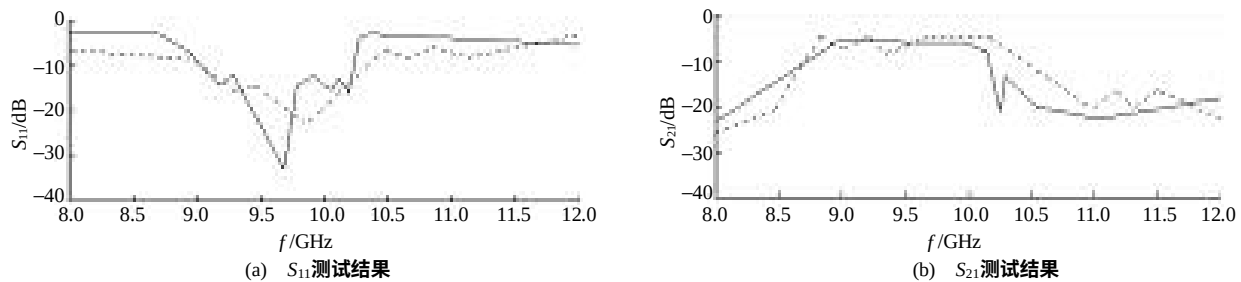


图4 X波段三节同轴天线

2 例题验证

2.1 辐射问题

一种用于个人通信系统中的同轴传输天线进行了仿真模拟,结构如图4所示。天线参数为: $e_r = 1$, $D_1 = 3$ mm, $D_2 = 6.9$ mm, $D_3 = 40$ mm, $L_1 = 18$ mm, $L_2 = 17$ mm, 其中 D_1 , D_2 , D_3 分别为同轴内、外及大托盘直径。图5是三节同轴天线的软件测试结果与实验结果的比较^[3],从图中可以看出,软件的测试结果和实验结果很相近。在图5b中可以看到实验结果中在10.2 GHz处有个尖峰,分析可能是由于实验末端不连续的原因导致^[3]。



..... 仿真结果 —— 实验结果

图5 S_{11} , S_{21} 测试结果比较

2.2 本征值问题

仿真结构如图6所示，介质谐振器参数为 $2a=25.4\text{ mm}$, $b=25.4\text{ mm}$, $h=6.985\text{ mm}$, $l=23.368\text{ mm}$, $\epsilon_r=38$ 。采用直角坐标系，网格尺寸为： $N_x=48$, $N_y=44$, $N_z=47$, $\Delta x=0.549\text{ 2 mm}$, $\Delta y=0.563\text{ 0 mm}$, $\Delta z=0.553\text{ 7 mm}$ 。激励源为叠加源，设置在介质内。表1所示中给出了对应不同的半径和高度时谐振器的谐振频率，同时也给出了其他方法得到的结果，从表1中可以看出软件仿真的结果和其他方法得到的结果吻合很好，相比较传统的台阶近似，更是明显。

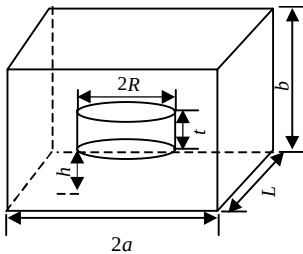


图6 矩形腔中的介质谐振器

表1 矩形腔中介质谐振器的谐振频率 ^[4]					
2R/mm	t/mm	f ₀ /GHz			
		本文	模匹配法	阶梯近似	测量值
16.612	5.537	4.390	4.40	4.429	4.382
17.501	5.842	4.160	4.17	4.144	4.153
19.228	6.426	3.750	3.78	3.888	3.777

3 结 论

该软件可用于解决一系列结构的电磁仿真问题：微波/毫米波集成电路；各种天线结构包括可重构天线、多馈线天线等的辐射问题；微带线结构，光子带隙(PBG)结构等的传输问题；散射体的单站和双站雷达散射截面计算问题。主要输出参数有：近场任意点、面的时、频域电磁场与电流分布；天线远场方向图；指定工作频段内的自阻抗与互阻抗，微带天线中指定端口的s参数等。软件运行的环境：Windows 95/Windows 98/Windows 2000/Windows NT 4.0。

参 考 文 献

[1] 王秉中. 计算电磁学[M]. 北京: 科学出版社, 2002

[2] Yu W, Mittra R. A conformal FDTD software package modeling antennas and microstrip circuit components[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2000, 42(5): 28-39

[3] Iskander M, Zhang Z, Yun Z. Coaxial continuous transverse stub (CTS) array[J]. IEEE Microware and Wireless Components Letters, 2001, 11(12): 489-491

[4] Liang X, Zakim K. Modeling of cylindrical dielectric resonators in rectangular waveguides and cavity[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 1993, 41(12): 2 174-2 181

编 辑 孙晓丹