

互联网上时域有限差分法程序分析

张梅* 邢欣

(广东工业大学计算机系 广州 510090)

【摘要】 分析了互联网上以时域有限差分法作为内核的计算电磁学软件; 概述了其各自的应用范围和使用界面特点; 介绍了进行 FDTD 运算时处理边界条件和加速计算所采用的算法, 说明了其激励类型和参数设定方法; 简述了输入和输出文件的特点和功能。

关键词 计算电磁学; 软件; 时域有限差分法; 互联网

中图分类号 TN455

有限差分法是一种非常简洁优美的处理电磁场问题的方法, 是当前计算电磁学领域中应用最为广泛的数值方法之一^[1]。在 IEEE 的技术文献(AP, MTT, EMC)中应用 FDTD 分析问题的论文数目在过去的十年内呈指数增长, 直接应用的课题很多, 例如微波器件、天线技术、RCS 计算、电磁兼容分析、电子集成技术和生物体内的 SAR 计算等。随着计算机的存储量和运行速度的不断提高, FDTD 方法具有很大的发展前景, 其广泛的应用能力对从事电磁理论的研究者将具有更大的吸引力。目前, 已有不少软件公司开发出基于 FDTD 法的计算电磁学软件, 它们在计算时间和存储利用方面效率较高, 具有友好的用户图形界面(GUI), 定义模型和参数非常方便, 将研究者从繁琐的程序代码中解放出来。

1 可供下载的软件

1.1 LC2.9

运行环境: 可在 SGI 或 Cray Research 机上运行, 也可在 PC 机的 Linux RedHat6.0 系统上运行。版本可从下列地址申请: <http://lc.cray.com/license.html>(免费, 使用无限制但无技术支持)。

LC2.9是由美国 CRAY Research、Northwestern University、University of Colorado、Los Alamos National Laboratory、SGI 共同开发的软件。它是模拟分析设计高速互连系统电磁特性和电磁兼容的工具^[2], 由 C++和 FORTRAN 语句组成, 在 OSF/MOTIF 的 UNIX 平台机上运行, 具动态存储器分配功能, 使用并行多处理器缩减计算时间。时域和远场计算含以下可选项与功能:

1) 含有模型生成和编辑工具用于指定物理模型和模拟参数, 有非立方体且尺寸可变的单元格定义及电压源和电流源定义, 电压源可以是理想的也可包含内阻。

2) 激励源的定义有正弦、线性斜坡脉冲、高斯、调制高斯、一次求导高斯等类型, 也可以自定义, 还可定义球面初始波。

3) 当进行电磁和线路模拟时可调用 SPICE3, LC 内含有与 SPICE3线路模拟的接口, 用户可增加 SPICE 模型如驱动和负载进入互连模型中, 互连表现由电磁模拟进行, 而集总线路由 SPICE3 模拟, 两者都在时域以固定的步长进行。

4) 含有分析工具将模拟结果处理成常用工程量, 如阻抗、电容、电感、S 参数等, 可从频域求出总辐射损耗, 可对一个结构优化削减不必要的辐射或增强所需辐射; 可画出辐射功率的幅度、相位、实部、虚部对照频率或散射角; 时域方面设置了各种类型的探测器(点、线、平面、表面探

2000年5月9日收稿

* 女 36岁 大学 讲师

针), 可从不同视角观察电磁场数据或进行过渡模式响应分析, 模拟过程中模型任意点的电压、电流、电荷、磁通量都可以显示或以动画播出。

1.2 APLAC 7.50

APLAC 7.50的运行环境为 Windows95, Windows95/NT, UNIX; 学生版本可从下列地址下载: <http://www.aplac.hut.fi/aplac/>(具备所有功能但可调用的内存受限)。

APLACT7.50由芬兰赫尔辛基技术大学电路理论实验室、诺基亚移动电话公司联合开发。它是一个面向对象的系统仿真和设计软件, 可进行从 DC 至微波波段的系统建模, 包含模拟数字通信系统的仿真和设计、求解三维电磁场问题的 FDTD 模拟器; 可以将这些系统级模块进行组合, 也可以只设计系统的某一部分。APLAC 由编辑器和模拟器组成, 其电磁场 FDTD 模拟特性如下:

1) 类似于 SPICE 软件的建模方式, 首先在编辑器里输入目标示图(Diagram Object), 表明元器件及相互之间的连接, 然后通过插入菜单中的“控制目标”(Control Objects)输入命令语句, 指明模拟器完成的任务, 此文件用后缀名*.n 保存。

2) 在*.n 文件完成后可开始运行模拟器, 文件被自动转化为. i 格式的输入文件, 实际的模拟开始。完成以后, 根据命令要求的不同, 得到某一立体或平面区域的电磁场值记录、惠更斯等效积分表面、辐射方向图和功率、稳态功率、S 参数、SAR 等结果。

3) 在电磁场建模中采用专用语句来描述物理模型、模拟参数及输出结果, 举实例如下:

ElectroMagnetics Low_Pass_Filter */生成名为 Low Pass Filter 的 EM 模拟块/

Triangle "TP1"

+SPAN=1 2 2 3 3 1*/名为“TP1”的三角贴片坐标位置 X=1~2; Y=2~3; Z=3~1/

+ PULSED */使用脉冲激励/

+ DIV 80 50 12 */计算区域是 $80 \Delta x \times 50 \Delta y \times 12 \Delta z$ /

+ CELLSIZE 0.406 4 mm 0.423 3 mm 0.265 0 mm */单元格尺寸是 $\Delta x, \Delta y, \Delta z = 0.265 \text{ 0 mm}$ /

+ SIMTIME ENERGYDROP 40 dB */模拟此结构直到测到最大值的40 dB 以下/

+ ABCTYPE ZHAO3 */使用的吸收边界条件为三阶 Zhao-Littva-Wu 方法/

+ ABCTRIM X 1.869 7 1.869 7 */截断边界 X 方向介质参数 $\epsilon_r = 1.869 \text{ 7}$ /

EndElectroMagnetics */结束 EM 模拟块/

4) 可采用的吸收边界条件有一阶和二阶 MUR 方法\二阶和三阶 Zhao-Littva-Wu 方法。

5) 除了常见的 Spice 电子学元件模型以外, 还包含大量已经定义的微波元件模型(微带/带状线/具衬底的微带^[3]), 系统模型还包括 RF 设计中的锁相环、离散时间模型等。

1.3 EZ-EMC 和 EZ- FDTD

EZ-EMC 和 EZ- FDTD 的运行环境为 Windows95/98/NT 平台。评估版本可以从下列地址下载: <http://ems-plus.com/downloads.htm>(30天内使用, 电路板不能有超过两层的层叠)。

EZ-EMC 和 EZ-FDTD 由 EMS-Plus 公司出品, 是基于 FDTD 的三维全波分析软件, 适合处理复杂环境的 EMI/EMC 问题, 可应用于任何频率范围的屏蔽分析、接地分析、腔穴及保护盒的谐振、电路板的发射、磁化系数、天线应用、测试环境和无回波室分析中, 其基本功能如下:

1) 通过图形界面建立模型, 设置板的位置、源类型和位置, 计算参数(区域、网格尺寸、时间步长数目)、材料参数(ϵ , m , s)等, 保存文件为*.inp 的形式。

2) 打开该*.inp 文件, 运行模型, 界面由进度表标示模拟进程。完成之后输出文件(*.out), 画出时域或频域的各方向电磁场, 也可输出动画文件(xbm, ybm, zbm)展示电磁波的强度和传播情况, 输出文件可转换为 ASCII 格式。

1.4 EMU/FDTD

运行环境为具有 OSF/Motif 和 XPVM 的 UNIX 平台。免费版本可从下列地址下载: <http://www.brunel.ac.uk/research/fdtd/emu.htm>(免费, 使用无限制)。

EMU/FDTD 由英国 Brunel 大学和 JISC New Technologies Initiative 公司联合开发。该软件最突出的特点是植入并行 FDTD 算法, 能并行分布地处理较大的问题, 使工作站和网络计算极大地加速。但其图形功能和辅助功能不如以上两个程序, 不包含近远场转换和 S 参数计算。其基本功能如下:

- 1) 提供直接的 X/Motif 窗口用户界面, 采用直角坐标, 可在三维空间对任意单元材料建模, 包含100种用户定义电磁材料(含损耗材料), 采用 Mur 的一阶吸收边界条件。
- 2) 有单频正弦和高斯脉冲激励, 可进行傅里叶变换, 可在空间任何位置记录电磁场值写入预处理文件且可视化, 频率从 DC 至光学范围。

1.5 XFDTD 5.0; XFDTD 5.0 Pro; XFDTD 5.0 Bio-Pro

运行环境为 Windows95/98/NT 版本, UNIX 版本(所有 UNIX 平台)。示范版本可从下列地址下载: <http://www.remcom.com/x5demo-p/download.html>(只能运行附带的例子程序)。

Remcom, Inc.公司的 XFDTD 是一种强有力的三维电磁场分析工具, 采用 X/Motif 菜单和图形用户界面, 方便、快捷地进行电磁场模拟, 善长处理辐射、散射以及封闭对象的电磁问题, 其中 XFDTD 5.0 Bio-Pro 还可以模拟生物体内电磁吸收率。其主要特点如下:

- 1) 建立模型和输入 FDTD 计算参数均通过菜单以及下拉菜单弹出的选项卡, 系统自动生成输入文件*.ID 和*.FDTD; 多个目标可以单独定义然后再组合, 模型可以进行平面和三维的透视; 可通过菜单打开、修改已有文件。XFDTD 实际上是提供了数据输入的接口, 运算由 Calcfdtd 程序执行, 采用 C 语言编程。
- 2) 输出的所有结果均可通过 XFDTD 的界面观察, 可以绘制曲线或指定以“快照”和“电影”方式显示系列时间步长内场值的变化。若用 XFDTD 作预处理, 其输出的文件是纯 ASCII 格式。利用 FDTD 一次计算即可得宽频结果的优点, 可得远近区场值、辐射方向图和功率、天线阻抗和增益、端口 S 参数、SAR 以及稳态数据等。
- 3) 激励为入射平面波或多个近场电压源(在3.X 以上版本中含 TEM 模式激励), 可设定为脉冲或正弦, 脉冲分别是高斯、调制高斯、求导高斯。
- 4) 网格均为立方体, 尺寸一般为最小波长的1/10, 对于体积较小的目标可设置1/3或1/5的子网格。网格单元交界处的材料参数均可设置, 可定义14种不同电介率、电导率、磁导率和密度的介质材料, 甚至可以是频率有关, 例如铁氧体。
- 5) 边界处理可选择 PEC、PMC 和吸收边界条件, 吸收边界条件为 LIAO 氏边界条件或完全匹配层 PML 法(可调节层数)。

2 无示范版本发布的软件

2.1 EMA3D

EMA3D 的工作平台为 SGI, SUN, HP, RS/6000, Alpha, Cray UNICOS; 宣传网页见 <http://www.csn.net/~emaden/SWproducts.html>; 由 Electro Magnetic Applications, Inc.出品。

EMA3D 是一种三维电磁场 FDTD 工具, 许多功能类似于 XFDTD 和 LC。其激励源的方式有: 电压、电流、电流密度、磁流密度、电场、磁场及平面波; 有嵌套子网格; 介质可以是有损耗、不均匀、非线性、时变、频率有关甚至各向异性; 采用 Mur、Fang-Mei、PML 和 EMA magnetostatic(静磁力学)吸收边界条件; 用户可通过 TCL/TK 定制专用宏; 特别构造的 CAD 加强软件包可加速从 CAD 系统的建模。

2.2 EMFIELDS-3D 和 EMFIELDS-2D(EMIT(tm))

该软件工作于 UNIX and VMS 平台, 网页为 <http://www.sethcorp.com/home.html>, 由美国 SETH Corporation 公司开发。可在单独的工作站或网络服务器上操作, 具有专用 EMI 建模工具, 善长处理射频 EMC 问题, 类似于 XFDTD 也包含用户图形界面输入参数和设定模型尺寸, 输出时域和频域结果。

2.3 Quick wave 3-D

该软件的网页为 <http://www.ire.pw.edu.pl/ztm/pmpwtm/qw3d/#scope> ..., 是一种通用电磁场模拟器, 由波兰华沙大学在欧盟支持下开发, 其特点是: 可在多种平台上工作(Windows32, Windows '95, UNIX X/Motif (SUN, HP, SGI, IBM6000, OS2); 面向对象的 C++编程, 有许多创新之处, 可将线路划分为子线路进行并行计算, 含加速处理模块, 结果实时交互演示; 善长处理不均匀、非线性、损耗、各向异性材料和不规则形状物体(弯曲金属表面用多边形网格单元, 突出表面有分等级的网格), 可设定纯模式激励(含模式模板), 这些模板由二维动态或准静态解法提取, 场或阻抗式模板均可, 变量源阻抗法促使特征模的生成; S 参数提取有新的进步(差分法、模板过滤、不完善边界补偿); 与非线性集总元件有稳定的接口; 针对天线问题用超吸收加 NTF; 可应用于耦合器、滤波器和匹配线路的 S 参数、天线的辐射特性和返回损耗、谐振器的特征频率和特征模。

3 结 论

本文对互联网上的大部分 FDTD 软件进行了简介, 可以看出目前国外这方面技术的软件化发展迅速, 在处理激励源模式、边界条件、网格形状方面结合新算法的速度也很快, 模型最优化技术正逐渐融合进 FDTD 程序中。文中列出的可下载软件不仅对研究 FDTD 有借鉴意义, 而且可供一般电磁学分析计算使用, 特别是对于科技人员和在校研究生掌握 FDTD 的使用, 以及了解最新发展很有好处。

参 考 文 献

- 1 文舸一, 徐金平, 漆一宏. 电磁场数值计算的现代方法. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994
- 2 王秉中, 洪劲松. 非对称带状线间隙的人工神经网络模型. 电子科技大学学报, 1999, 28(4): 362~365
- 3 阮成礼. 有限尺寸介质基片上的共面带线. 电子科技大学学报, 1999, 28(4): 366~370

Introduction and Analysis of FDTD Programs on Internet

Zhang Mei Xin Xing

(Dept. of Computer Engineering, Guangdong Polytechnic University Guangzhou 510090)

Abstract In this paper, some information of computation software on electromagnetics based on FDTD arithmetic are analyzed. Their application scopes and interfaces are summarized. The boundary condition and the method of accelerating computation are introduced. Their excitation styles and the methods of setting parameter are illuminated. The input and output files are also described.

Key words computation electromagnetics; software; FDTD Method; internet