

用 MATLAB 实现电磁波与目标作用的动态可视化

王新民, 刘长军, 曾 浩

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要:给出了一种实现电磁波与目标相互作用现象可视化的方法。首先用时域有限差分法在数值上模拟电磁波与目标相互作用过程, 获取电磁场数据, 然后利用 MATLAB 软件的科学计算可视化功能, 将原始数据转换为动态图像。从而能够观察到电磁波传播、穿透、散射和吸收等现象, 为直观地了解电磁波与目标相互作用的过程提供了一个有效的手段。

关键词:电磁现象; 科学可视化; 时域有限差分法; MATLAB

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2003)09-0003-03

An Approach of Visualization of Interaction between Electromagnetic Wave and Objects by Using MATLAB

WANG Xin-min, LIU Chang-jun, ZENG Hao

(College of Electronic Information, Sichuan Univ., Chengdu 610064, China)

Abstract: In this paper, an approach is presented for the visualization of the interaction between electromagnetic wave and objects. Firstly, the interaction between electromagnetic fields and objects is simulated by the finite difference time domain (FDTD) method to achieve field information. Then, the raw data are converted to images, and the animation of the electromagnetic wave can be viewed through MATLAB. The phenomena, such as wave propagation, penetration, reflection and absorption by objects, can be observed directly. The demonstrative example indicates that the approach provides an efficient tool to view electromagnetic phenomena.

Key words: electromagnetic phenomena; scientific visualization; FDTD; MATLAB

0 引 言

麦克斯韦(Maxwell)建立电磁场基本方程并预言电磁波的存在以来, 电磁波成为人类认识自然的一种重要的工具。实现将不可见的电磁波与目标相互作用直接被人的肉眼观察到的方法叫做电磁波现象可视化方法。例如, 在飞行器隐身设计中, 可以观察电磁波的穿透、反射和吸收, 通过调整飞行器的形状和材料, 来达到减少电磁波的反射。在教学中, 可以直观地展示电磁波同各种目标的作用过程。因此, 电磁现象可视化研究具有重要的现实意义。

计算电磁学中的时域有限差分法(FDTD)的发展^[1,2]和科学可视化软件的出现, 为实现电磁波现象可视化提供了应具备的两个基本条件:

- 1) 模拟电磁波与目标相互作用过程的数值方法;
- 2) 将数据转换为图形的方法。

文中通过将 FDTD 与 MATLAB 软件的科学计算可视化功能相结合, 通过一个二维电磁散射的例子, 给出了一种实现电磁现象可视化的方法, 以及改善显示速度、优

化程序的几点建议。

1 实现电磁现象可视化的步骤

文中采用实时显示可视化方法, 将 FDTD 法每一时间步所生成的数据, 通过可视化方法立刻显示出来, 只存储处理当前帧信息以节约存储器。

1.1 FDTD 法得到现场时间步电磁量信息

FDTD 法是直接将 Maxwell 方程作差分离散, 利用二阶精度的中心差分近似把 Maxwell 方程中的微分运算符转换成差分形式, 在空间和时间上对电场和磁场交替间隔取样^[3]。在所模拟的空间区域内, 从时间步 $t=0$ 开始, 通过执行每一空间网格上的有限差分计算, 使电磁波在模拟空间内传播, 并与此空间内的目标相互作用。FDTD 法的计算过程表现为在每一时刻整个模拟空间网格点上的场量, 其物理意义十分明确。每一时间步的整个模拟空间网格点上的场量数据就是要得到的现场电磁量信息。

1.2 Fortran 调用 MATLAB 引擎实现电磁量可视化

MATLAB 是一款非常优秀的数学软件, 提供大量的数学函数和丰富的接口函数供 C 或 Fortran 程序调用。但由于不同的编程语言对数据定义的方式不尽相同, 因此在采取混合编程的时候要考虑数据间的传递问题。MAT-

收稿日期: 2003-04-06

作者简介: 王新民(1977-), 男, 湖北十堰市人, 四川大学硕士研究生, 主要从事微波理论技术和计算电磁学等方面的研究工作。

LAB 的应用程序接口只能处理一种类型的数据结构即 `mxArray` 结构体。在 Fortran⁹⁰ 标准中, 提供了指针类型, 因此这种数据的传递工作可以通过指针实现^[4]。

Fortran 传输数据到 MATLAB 的主要步骤就是将 Fortran 的数据提供给 MATLAB, 经过 MATLAB 的处理后再返回 Fortran 主程序的过程。混合编程的主要步骤: ①API 函数的申明; ②指针变量的定义; ③创建存储类型为满的未赋值的数组; ④将指针指向的数组命名; ⑤将 Fortran 数组复制到 MATLAB 数组中去; ⑥向 MATLAB 写入一个满存储类型的 `mxArray` 结构体。

MATLAB 的引擎库提供了一整套允许用户在自己的程序中调用的引擎函数。通过这些引擎函数, 用户可以在 Fortran 程序或 C 程序中直接调用 MATLAB 的函数和命令, 并且可以编译成统一的 EXE 文件执行^[5]。下面给出几个比较重要的 Fortran 程序可以调用的引擎函数和它们的功能说明(其它函数可以通过 MATLAB 帮助找到):

`engOpen`: 启动 MATLAB 引擎, 建立 ActiveX 通道;
`engClose`: 关闭 MATLAB 引擎, 即关闭 ActiveX 通道;
`engGetMatrix`: 从 MATLAB 引擎得到 MATLAB 数组值;
`engPutMatrix`: 把一个 MATLAB 数组传给 MATLAB 引擎;
`engEvalString`: 执行一个 MATLAB 命令。

2 一个二维电磁散射问题的例子

以一个无限长正方形导体柱作为二维计算例子, 正方形边长为 0.2m, 介电常数 $\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, 磁导系数 $\mu = 12.5663 \times 10^{-7} \text{ H/m}$, 电导率 $\sigma = 10^5 \text{ S/m}$ 。入射波源为高斯脉冲平面波, 波源的极化方向为垂直极化, 数学表达式为: $E_i(t) = \exp(-4\pi(t - t_0)^2/\tau^2)$ 。模拟空间内网格的尺寸为 2mm, 网格总数为 300×300 。时间步长为 4.1667ps。应用上节所述的可视化方法, 在计算机显示器上可观察到波源的产生、传播以及与目标相互作用的动态过程。

2.1 相应 Fortran 程序主要部分

```
integer engopen, engclose, engGetMatrix, mxCreateFull, mxgetPr
! 定义变量申明 API 函数
ep=engOpen('matlab') ! 启动 MATLAB 引擎, 建立 ActiveX 通道

! 在 MATLAB 中建立对应矩阵
Mat-E=mxCreateFull(Ir-Il+1, Ju-Jd+1, 0) ! 创建存储类型为满的未赋值的阵列
Mat=mxCreateFull(1, 5, 0)
call mxSetName(Mat-E, 'Mat-E') ! 将指针指向的阵列命名
call mxSetName(Mat, 'Mat')
call mxCopyreal8ToPtr(para-mat, mxGetPr(Mat), 5) ! 复制 Fortran 数组到 MATLAB
call engPutMatrix(ep, Mat) ! 写入 mxArray 结构体
```

```
call engEvalString(ep, 'figure("pos"[313 141 484 386])')
! 在 MATLAB 中运行指令
do time-step=1, max-step
! 开始 FDTD 计算
! 用 MATLAB 显示动态图像
call mxCopyReal8ToPtr(Fld-E-Z, mxGetPr(Mat-E), (Ir-Il+1) * (Ju-Jd+1)) ! 复制数组到 MATLAB
call engPutMatrix(ep, Mat-E) ! 向 MATLAB 写入满存储的类型的 mxArray 结构体
call engEvalString(ep, 'Mat-E=Mat-E'; Mat-E=flipud(Mat-E);') ! 在 MATLAB 中执行该命令串
call engEvalString(ep, 'imagesc(x,y, Mat-E, clim)')
end do
call mxFreeMatrix(Mat-E) ! 结束 MATLAB 引擎, 释放 MATLAB 中的矩阵内存
call mxFreeMatrix(Mat) ! 释放 MATLAB 中的矩阵内存
call engEvalString(ep, 'close')
stat=engClose(ep) ! 关闭 MATLAB 引擎, 即关闭 ActiveX 通道
end program Fdtd-2D
```

2.2 计算显示结果

这里, 色图函数采用线性灰度函数(在计算机显示器上采用彩色色图函数, 可视化效果要更好)。在图 1 中, a·b·c·d·e·f·分别是在时间步为 100, 200, 300, 400, 500, 600 时, 电场瞬时值的分布图。整个显示的过程可以非常清楚的观察到电磁波反射和散射的过程。另外, 四条直线

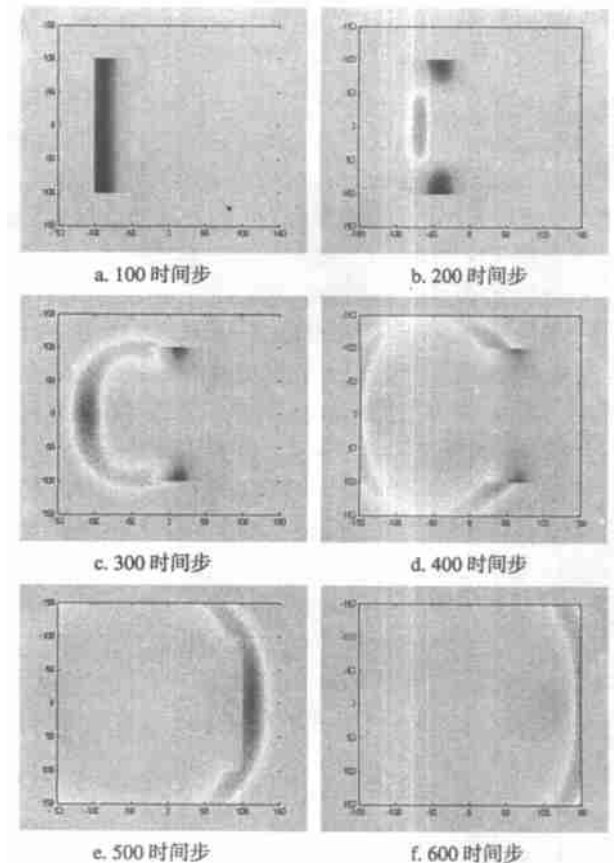


图 1 整个显示过程演示

($X = \pm 100, Y = \pm 100$) 围成的正方形区域为总场区(总场即入射场和散射场的叠加),其外的区域是散射场区(该区域只包括目标的散射场);无限长正方形导体柱所在的区域为四条直线($X = \pm 50, Y = \pm 50$) 围成的正方形;四条直线($X = \pm 150, Y = \pm 150$) 形成的边是 Mur 二阶吸收边界。

2.3 改善显示速度,优化程序的几点方法

整个显示过程中的流程如图 2 所示。其中,由于 MATLAB 的命令是解释性的,限制了 MATLAB 的速度,而且这是一个二维问题,Fortran 程序部分的计算量相对而言很小,所以 MATLAB 命令的执行时间占了整个执行时间的绝大部分(约 80%)。因此,要改善显示速度、优化程序,主要工作应该放在 MATLAB 部分。

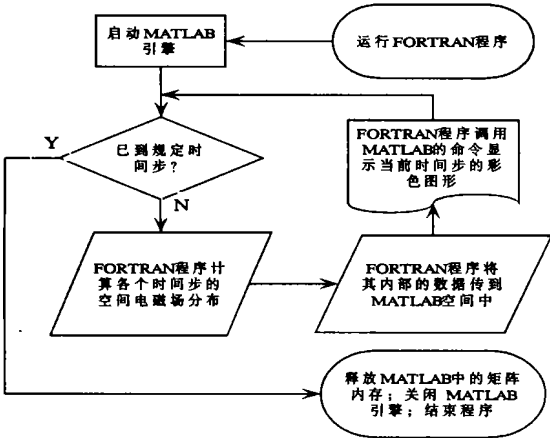


图 2 Fortran 调用 MATLAB 实现显示的过程

首先,为了保证一定的刷新速度,应该限制显示范围,在 MATLAB 中运行这个命令:figure(“pos”[313 141 484 386])。其次,在显示的时候不应使用 MATLAB 自带的 MOVIE 命令,该命令实际上是将每一时间步的图形以 BMP 格式存储为一帧,然后一起播放,但是考虑到 FDTD 一般需要比较多的时间步才可以稳定,故而以 BMP 格式存放的图像帧将占据大量的内存。如果图像大小为 figure(“pos”, [313 141 484 386]), 总共 500 时间步,采用 MOVIE 命令将使 MATLAB 占用系统 800MB 左右的内存,对于大部分 PC 机而言存在一定困难。其三,对于显示过程中出现的闪动现象可以通过分页技术予以克服,具

体方法如下:在 MATLAB 中用 figure 命令创建两个图 fig1 和 fig2,两图的窗口在屏幕上的大小、位置完全一致故相互重叠,先将 fig1 图放在前面完全覆盖 fig2 图,用命令 imagesc 更新 fig2 图的内容,显示 20ms,然后将 fig2 图置于上方覆盖 fig1 图,用命令 imagesc 更新 fig1 图的内容,显示 20ms,如此往复就实现了两分页的技术,较好地克服了原先在动态显示中闪动的问题。最后,在作图的时候根据经验用命令 imagesc 效果比较好。

3 结束语

笔者以时域有限差分法为数值模型,利用 MATLAB 软件的科学计算可视化功能给出了一种实现电磁波现象可视化的方法。以无限长正方形导体柱作为例子,演示了电磁波与目标相互作用的动态过程。演示例子表明,所给出的可视化方法能成功地实现动态显示电磁波传播、穿透、散射等现象,为研究电磁波与物体相互作用的机理提供了一种直观的方法。实际上,科学可视化领域中三维数据场可视化技术的新进展为电磁波现象可视化提供了许多有效的方法^[6]。进一步的研究工作将是应用三维数据场可视化新算法——体绘制 (Volume Rendering) 技术,来实现显示电磁波现象的整体结构。

参考文献:

[1] Kunz K S, Lubbers R J. The finite difference time domain method for electromagnetics [M]. Boca Raton, FL: CRC Press,1993.

[2] Taflove A. Review of formulation and applications of the finite difference time domain method for numerical modeling of electromagnetic wave interactions with arbitrary structures [J]. Wave Motion, 1988,10(6):547-582.

[3] Yee K S. Numerical solution of Initial boundary value problems Involving Maxwell's equations in isotropiemedia [J]. IEEE Trans. Antenna Propagate, 1966,14(3):302-307.

[4] 刘志俭. MATLAB 应用程序接口用户指南[M]. 北京:科学出版社,2001.

[5] 许波,刘征. MATLAB 工程数学应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

[6] Brodlie K W. Scientific visualization: techniques and application[M]. New York:Springer-Verlag, 1992.

(上接第 2 页)

的点所占的比率是 $1 - q$, 因此在不分组时比较一幅图所需的总时间为 $F1 = T * N * q + T * N * (1 - q) = N * T$, 而在分组的情况下 $F2 = [T + (n - 1) * t] * N * q + T / n * N * (1 - q)$ 。易知在 $n = \sqrt{T * (1 - q) / (t * q)}$ 时,时间 $F2$ 取到了最小值 $(T - t) * N * q + 2 * N * \sqrt{T * t * q * (10 - q)}$ 。

由此可见,只要能够选定合适的 n 值,总可以使使得程

序运行的总时间达到最小。

参考文献:

[1] Duda R E, Hart P E. Pattern Classification and Scene Analysis [M]. New York: Wiley, 1973.

[2] Castleman K R. Digital Image Processing [M]. NJ: Prentice Hall Englewood Cliffs, 1996.

[3] Haralick R M, Shapiro L G. Survey: Image Segmentation[J]. Comput. Vision, Graphics, Image Proc, 1985,29:100-132.