

# 时域有限差分法三维电磁仿真工具 XFDTD 介绍



未经许可 请勿复制全部或者部分文档  
©未尔科技 版权所有

## 目录

<b>1</b>	<b>产品概述</b>	<b>1</b>
1.1	产品简介	1
1.2	产品背景	1
1.3	参考客户	2
<b>2</b>	<b>功能应用</b>	<b>3</b>
2.1	各类单元天线的仿真设计	3
2.2	各类天线阵列的仿真设计	4
2.3	载体天线布局的仿真分析	5
2.4	微波射频器件仿真分析	6
2.5	电磁兼容问题分析	6
2.6	生物电磁效应分析	7
2.7	特殊材料分析	8
2.8	光子晶体分析	9
<b>3</b>	<b>功能特点</b>	<b>10</b>
3.1	求解电大尺寸精细结构效率高	10
3.2	并行求解能力强	10
3.3	硬件加速能力强	10
3.4	宽频瞬态求解能力强	11
3.5	模拟各种复杂材料	12
3.6	高效建模能力	12
3.7	支持各种 CAD 模型导入	12
3.8	强大的后处理能力	13
3.9	自定义脚本功能	14
3.10	支持丰富激励源	15
<b>4</b>	<b>运行环境和配置</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>总结</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>关于未尔</b>	<b>18</b>

# 1 产品概述

## 1.1 产品简介

XFdtd 是基于时域有限差分 (FDTD) 方法的全波三维电磁场仿真软件。FDTD 是直接对 Maxwell 方程的微分形式进行离散的时域方法，天生适合解决宽频瞬态问题，如雷电脉冲、HIRF 电磁脉冲等，各类材料问题，复杂精细结构和电大尺寸的天线及阵列设计，电中小尺寸的天线布局问题等。

FDTD 方法计算复杂度低，所需内存和计算时间与未知量成正比，仿真电大尺寸复杂精细结构效率高。此外，通过 GPU 硬件加速，可以将仿真速度提升 50~300 倍，是工业上第一款支持 MPI 并行仿真的平台。



XFdtd 广泛应用于天线及阵列、天线布局、微波器件、电磁兼容、生物电磁、特殊材料、光子晶体等领域。

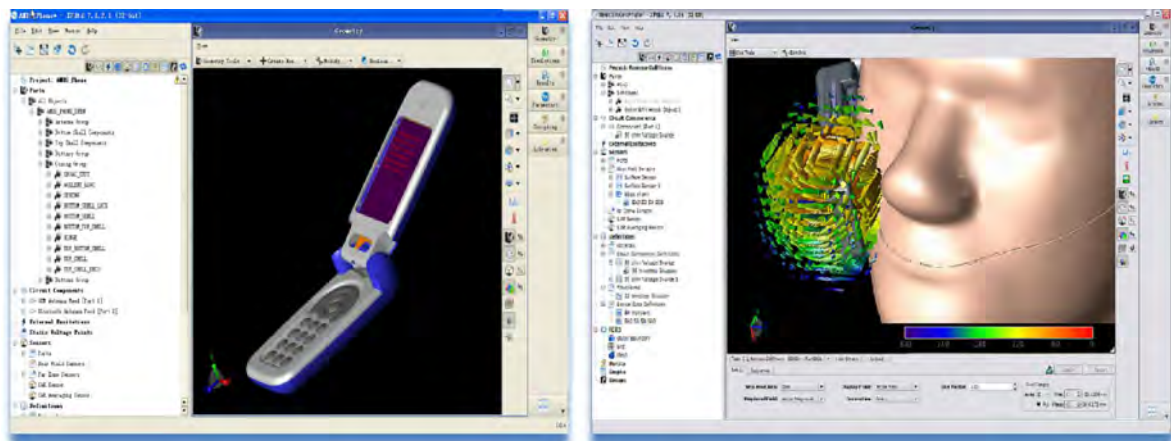


图 1-1 XFdtd 典型应用场景

## 1.2 产品背景

XFdtd 是 REMCOM 软件包核心产品之一，该软件包是美国 REMCOM 公司开发的一套集电磁数值计算方法 FDTD (时域有限差分法)，UTD (一致性绕射理论)，GTD (几何绕射理论)，SBR/ER (射线跟踪模型) 的三维电磁仿真软件包，包括

XFdtd, XGtd, Wireless InSite, RLD 等产品, 分别完成电小尺寸, 电大尺寸目标系统, 复杂电磁环境, 专业罗特曼透镜设计等的电磁计算仿真分析。

从 1994 年发布第一个版本以来, 该软件包广泛应用于各种科研、工业设计、军工生产等方面。XFdtd 在天线设计、辐射散射分析、电磁兼容分析等领域具有独特的优势。2005 年 5 月, 获得美国政府批准, 允许对中国出售。

### 1.3 参考客户

REMCOM 软件包在全球有超过 1000 家客户, 广泛分布于航空、航天、船舶、车辆与轨道交通、电子与电信等多个领域。

#### 企业

大唐移动通信设备有限公司

美国摩托罗拉

美国英特尔

思科系统

西门子

北电网络

波音商业飞行器公司.

波音卫星系统公司

洛克西德马丁公司

美国雷神公司 (Raytheon)

通用 India

NEC Japan

RADAR MMS/Pulse

Systems (俄罗斯)

#### 政府部门

国内众多研究所

NASA Marshall Space

Flight Center

NASA Langley

Naval Air Warfare Center

Naval Surface Warfare

Center

Air Force Research Lab

Brooks Air Force Base

FAA

FDA

Defence Research

US Army CECOM

US Geological Survey

Japan Defense Agency

#### 大学

清华大学

北京理工大学

北方工业大学

浙江大学

香港大学

香港城市大学

厦门大学

斯坦福大学

哈佛大学

伯明翰大学

奥克兰大学

滨州大学

佛罗里达大学

## 2 功能应用

XFdtd 主要应用领域包括:

- 各类单元天线的仿真设计: 手机天线、WLAN 天线、基站单元天线、分集天线、汽车玻璃天线、车载杆状天线等;
- 各种载体的天线布局: 手机、笔记本、汽车等;
- 微波器件: 滤波器、功分器、耦合器、环流器等;
- 电磁兼容: 屏蔽、耦合、接地、封装等;
- 生物电磁效应: 由移动电话、无线局域网、电台、车载天线等引起的 SAR, 核磁共振成像设计, FCC 认可的医疗植入通讯服务 (MICS) 等;
- 散射分析: 雷达散射截面、近场危害等;
- 特殊材料: 非线性、色散、负指数和各向异性材料等;
- 光波导传播特性等光学研究;
- 地质学和逆散射;
- 等离子体;
- 雷电、高强度电磁脉冲等。

### 2.1 各类单元天线的仿真设计

XFdtd 采用共形网格技术, 可以高效快速的建模及仿真单元微带贴片天线、手机天线、基站天线、WLAN 天线、分集天线以及汽车玻璃天线等。

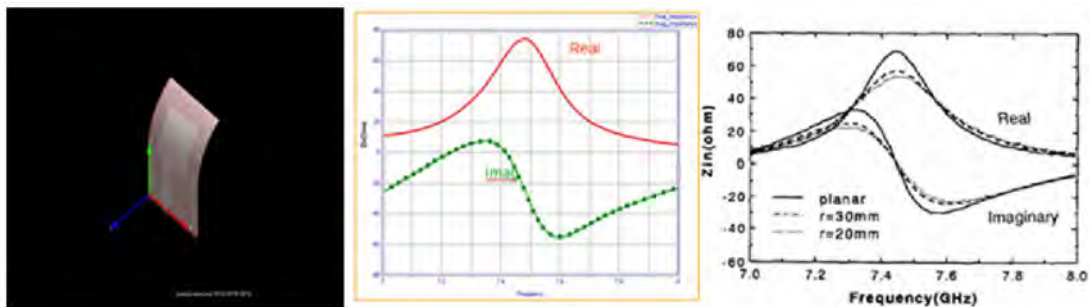


图 2-1 共形贴片天线的模拟仿真和实测结果



图 2-2 PCB 双频手机天线(GSM)

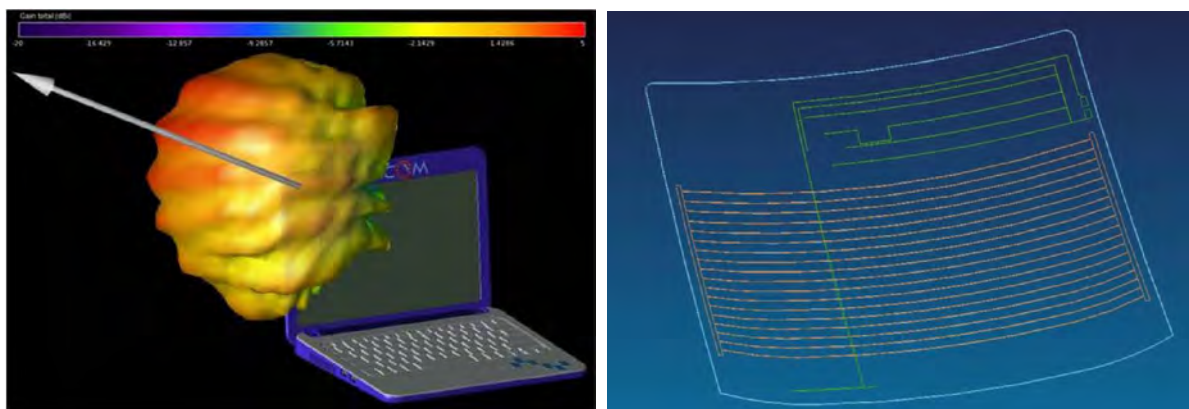


图 2-3 各类天线设计（左：带介质及精细结构的 WLAN 天线，右：汽车玻璃天线）

## 2.2 各类天线阵列的仿真设计

XFDTD 解决电大尺寸复杂精细结构阵列时所需要的硬件资源相对较少，且能够灵活改变阵列天线馈电端口的激励幅度和相位，实现相控阵天线的仿真和优化。

XFDTD 可以仿真模拟出阵列天线的参数，如有源驻波比、阵元之间的互耦、2D 和 3D 辐射及散射方向图、瞬态和稳态近场分布等。

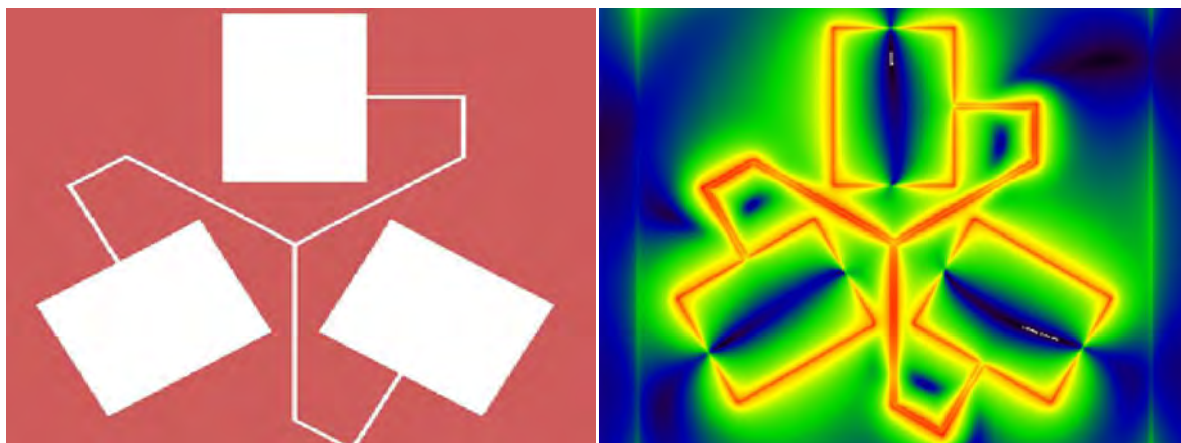


图 2-4 HiperLAN 三贴片天线阵列的仿真

## 2.3 载体天线布局的仿真分析

XFdtd 可以对天线安装在载体上的特性进行预测。由于手机、通讯设备、车辆等载体或周边环境对天线的近场有较大影响，可能导致天线远场特性有较大畸变。通过 XFdtd 提前进行预测，省去大量外场试验的时间及经费。

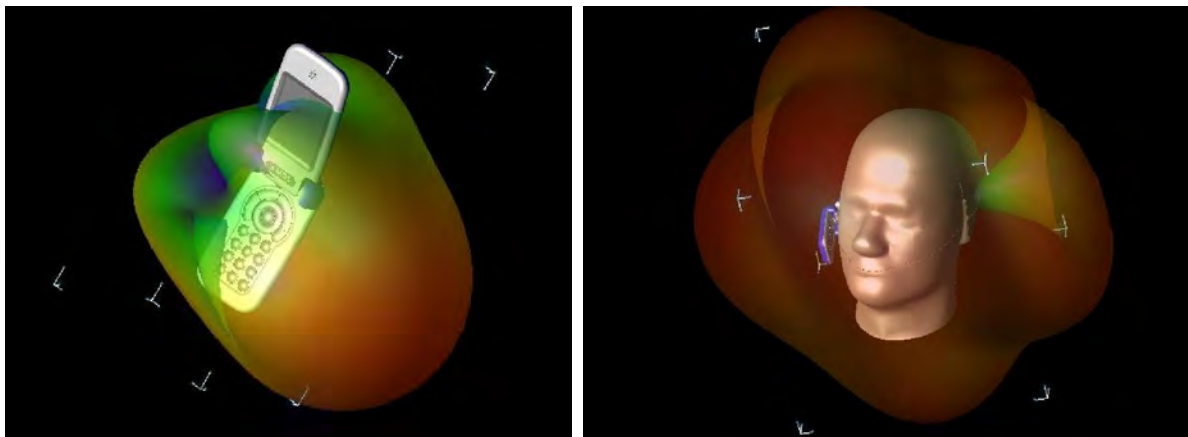


图 2-5 手机天线分别受手机结构以及手机+人头结构影响后的方向图畸变

XFdtd 可以预测载体上多天线之间的耦合。由于手机、通讯设备、车辆等载体上通常搭载多副天线，天线之间相互干扰严重，采用 XFdtd 提前预测天线之间的耦合，并对天线位置进行优化，可以降低近频天线之间的干扰。

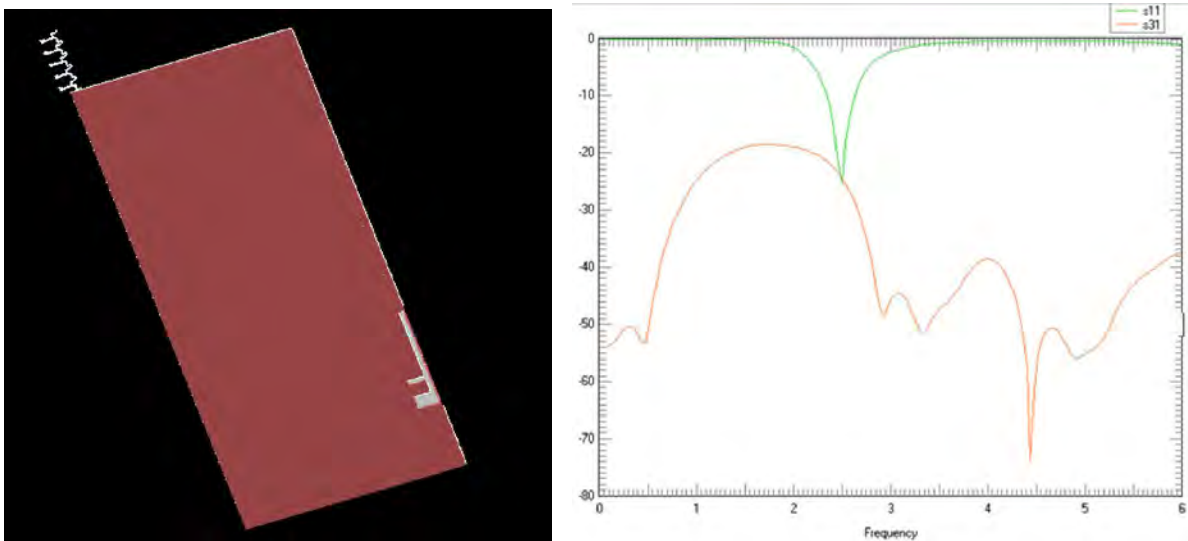
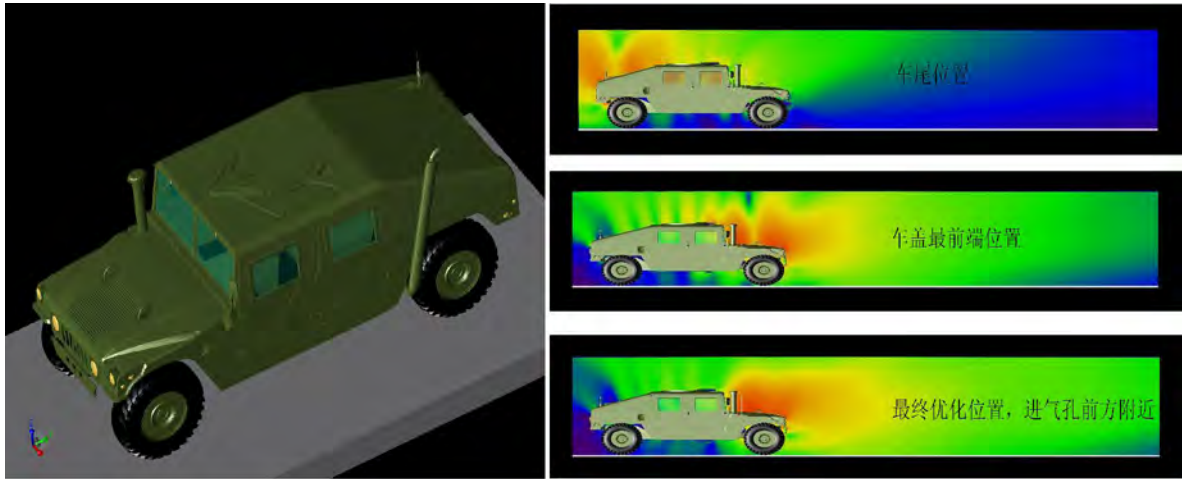


图 2-6 手机上 GSM900 天线和蓝牙 PIFA 天线之间的耦合预测



2

器

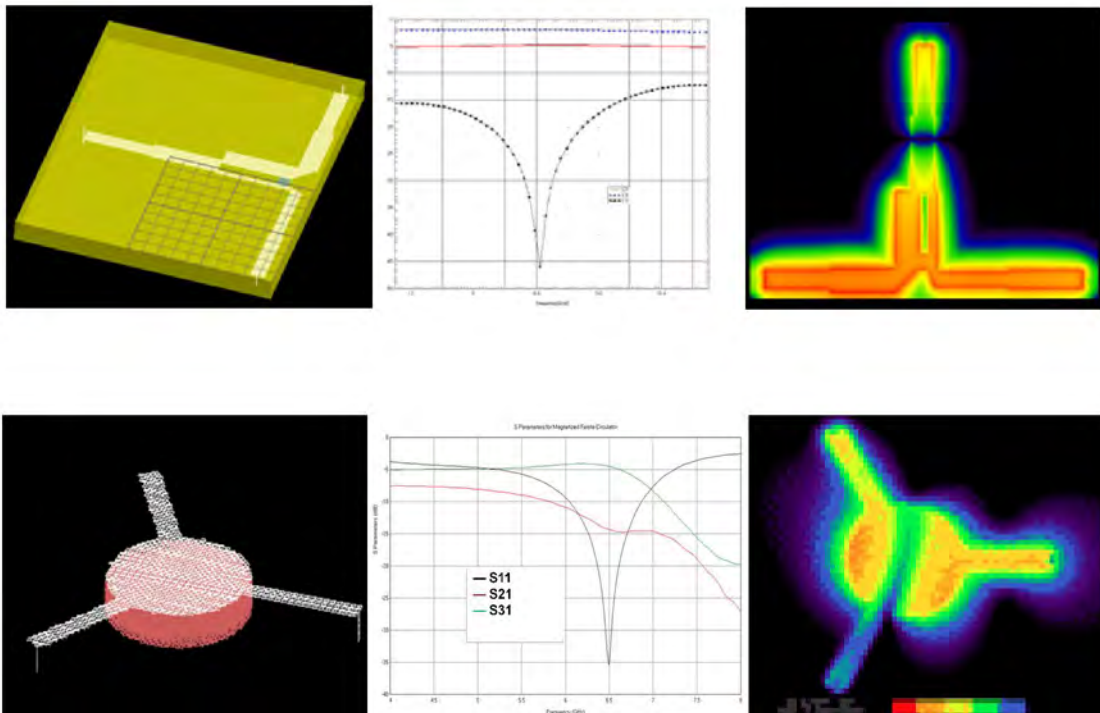


图 2-9 微波循环器的 S 参数及电场分布

## 2.5 电磁兼容问题分析

XFdtd 在电磁兼容方面有诸多应用，可分析设备级电磁兼容和电磁干扰问题，如机箱的屏蔽效能、线缆的抗干扰能力、电子设备的封装特性等。

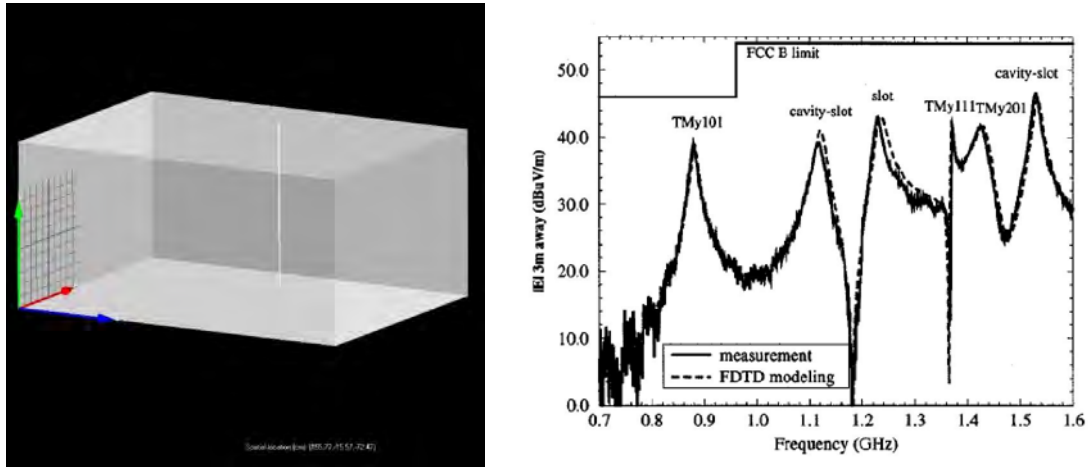


图 2-10 机箱的电磁孔缝泄漏（3m 外场强）



图 2-11 手机封装对天线辐射性能的影响

## 2.6 生物电磁效应分析

生物电磁效应计算方面，XFdtd 是第一个具有 SAR 计算能力的商业 FDTD 电磁求解器，遵循 ANSI/IEEE C95.3:2002 标准，可以计算 1 克 SAR、10 克 SAR、整体平均 SAR 和局部峰值 SAR，XFdtd 计算的平均 SAR 值遵循 IEEE/ICES 1528.1 标准。XFdtd 计算结果和 IEEE 1528-2003 标准测量结果非常一致。

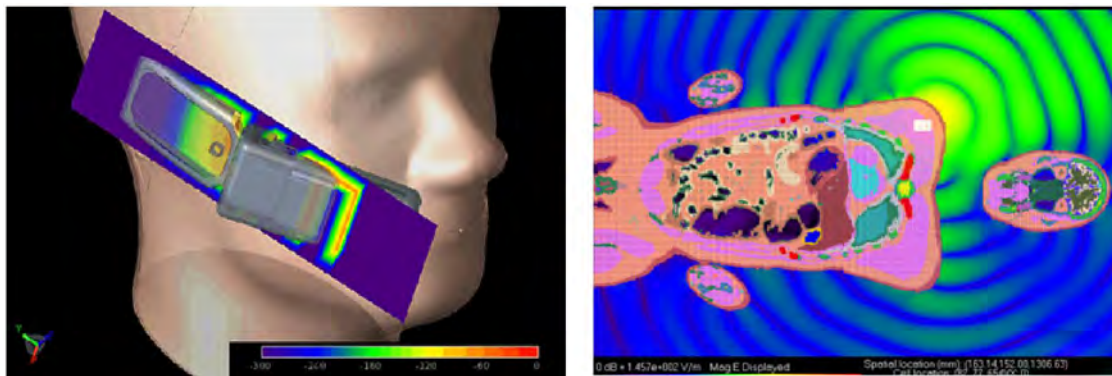


图 2-12 SAM 头部及贴片天线在人体内部仿真预测

XFDTD 协同人体模型动作编辑工具 VariPose，可以考察人体不同姿态对天线辐射性能等电磁特性的影响。

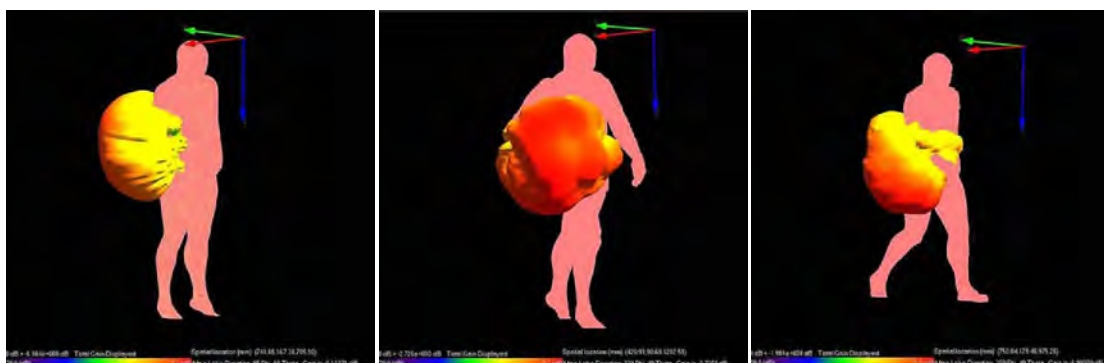


图 2-13 人体走路过程中，手机天线辐射性能的变化

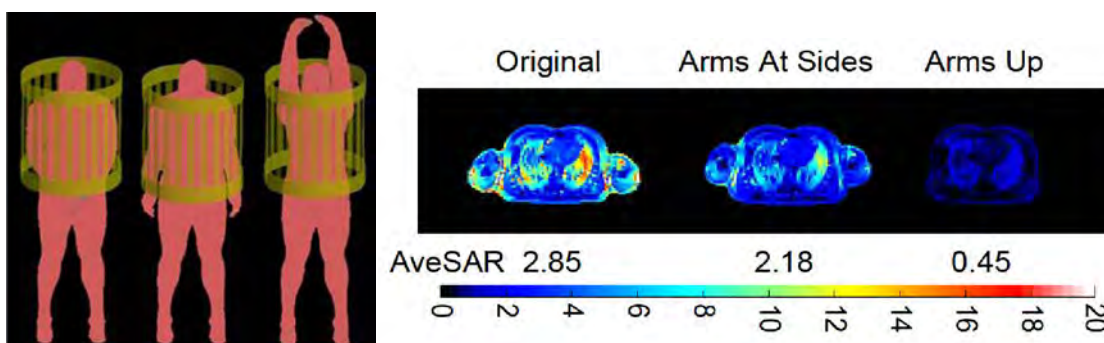


图 2-14 不同姿态下，MRI 线圈在人体内的 SAR 值分布

## 2.7 特殊材料分析

XFdtd 使用体剖分，用相应独立的字节存储每个空间网格的材料特性，特别适合仿真各种特殊的电或磁性材料、吸波材料、左手介质、等离子体、各向异性材料、色散材料、磁性铁氧体、非线性各向异性电介质、不同半径的各种导线等。

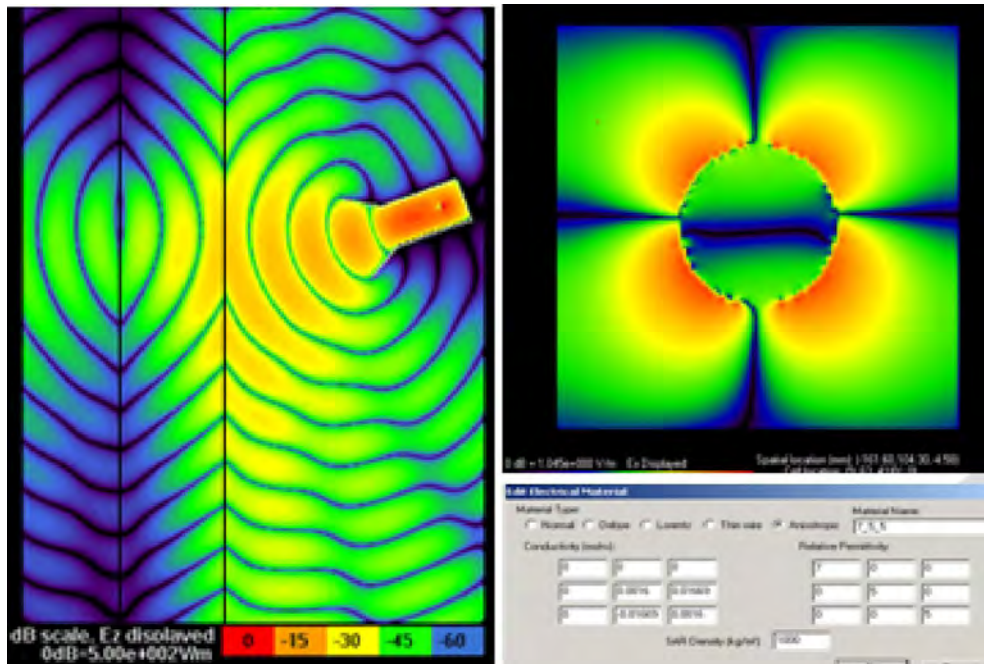


图 2-15 双负性材料和各向异性材料

## 2.8 光子晶体分析

FDTD 算法非常灵活，广泛应用于光子晶体领域，能仿真分析光波导传播特性、光子晶体的透射率和反射率、光谱分析、等离子体的注入和损耗等。

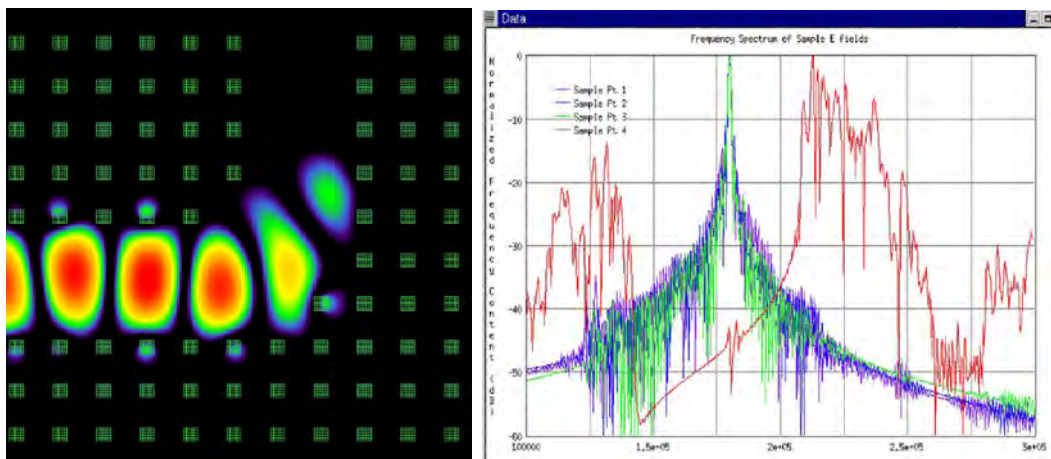


图 2-16 光子晶体的传播特性和频谱分析

### 3 功能特点

#### 3.1 求解电大尺寸精细结构效率高

FDTD 方法的仿真时间和内存与未知量成线性关系，仿真时所需硬件资源相对较少，因此 XFdtd 适合解决电大尺寸复杂精细结构问题，如电大尺寸的阵列天线、天线布局等。

表格 1 基站天线阵列测试

基站天线阵列	未知量	所需内存	计算时间
5*5	18,631,360	1GB	20 分钟/频点
9*9	46,189,000	2.2GB	47 分钟/频点

#### 3.2 并行求解能力强

XFdtd 是全球第一款支持并行 MPI 的电磁仿真软件。FDTD 的算法特性保证 XFdtd 并行效率特别高。

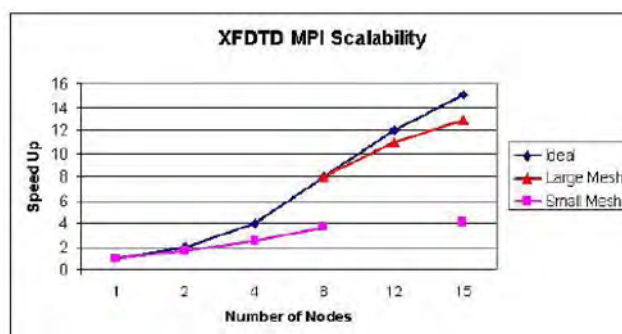
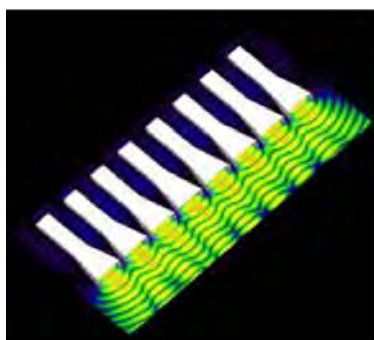


图 3-1 采用并行 XFdtd 计算喇叭天线阵列

#### 3.3 硬件加速能力强

解决电大尺寸复杂精细结构问题时需要大量网格，即使计算复杂度最低的 XFdtd 也需要大量计算时间。对于天线布局问题，天线的位置、几何结构参数、材料参数等都可能是不确定的，需要进行多次仿真对比，仿真进程严重受限于运算速度。在实际

工程项目中，如何缩短仿真周期，提高工作效率，在最短时间内给出工程上合理的仿真结果直接决定项目的成败。

XStream 利用最先进的图形显卡技术，动态地改变处理速度，实现了基于串行浮点运算中的现代电子图形卡的 GPU 计算功能，能显著提高 XFDTD 运算速度。

新一代 XStream 采用 NVIDIA CUDA 架构的 GPU，根据工程大小和 GPU 配置的不同，计算速度比 64 位的单 CPU 快 50~300 倍。

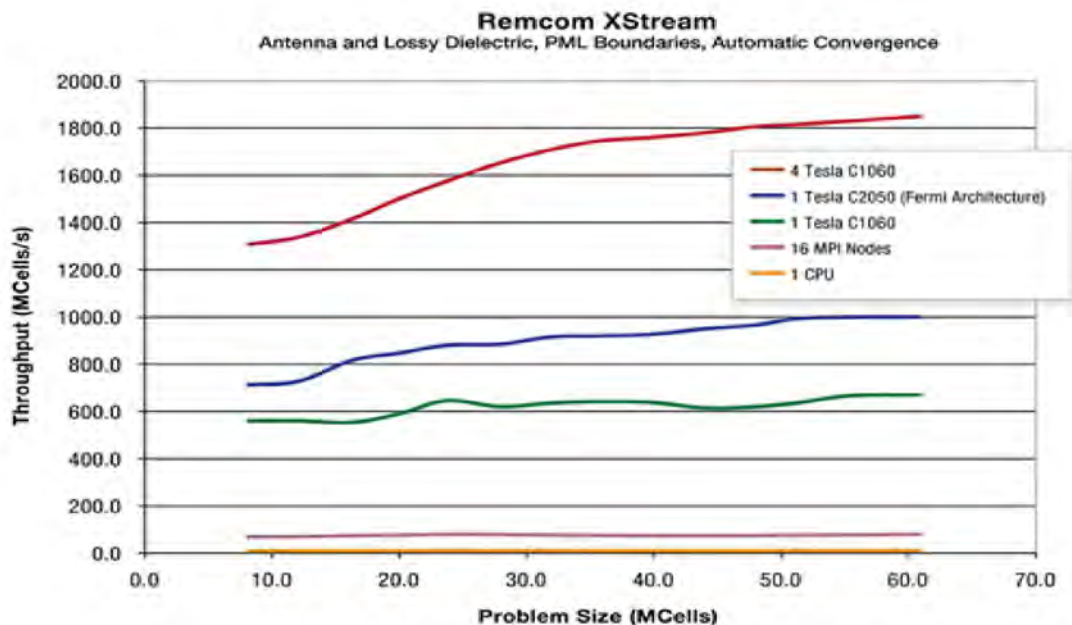


图 3-2 NVIDIA Tesla 系列 GPU 加速性能

### 3.4 宽频瞬态求解能力强

XFDTD 基于时域算法，采用脉冲激励，一次计算获得整个宽频段结果，适合计算宽频瞬态响应。

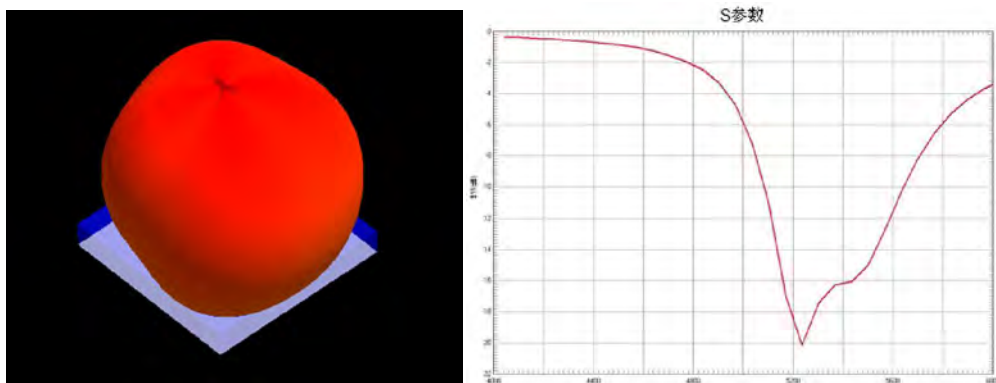


图 3-3 宽带 WLAN 天线 (0~6 GHz)

### 3.5 模拟各种复杂材料

XFdtd 使用体剖分，用相应独立的字节存储每个空间网格的材料特性，特别适合仿真各种特殊的电或磁性材料、吸波材料、左手介质、等离子体、各向异性材料、色散材料、磁性铁氧体、非线性各向异性电介质、不同半径的各种导线等。

### 3.6 高效建模能力

XFdtd 具有简单、高效的建模工具，通过模型编辑器，可以建立基本的三维实体模型、二维模型，通过复制、移动、缩放、旋转、布尔等操作进行复杂形状的组合，建模过程会保存对模型的操作历史，方便进行撤销操作。使用 XFdtd 自带的模型编辑器，可以创建任意模型。

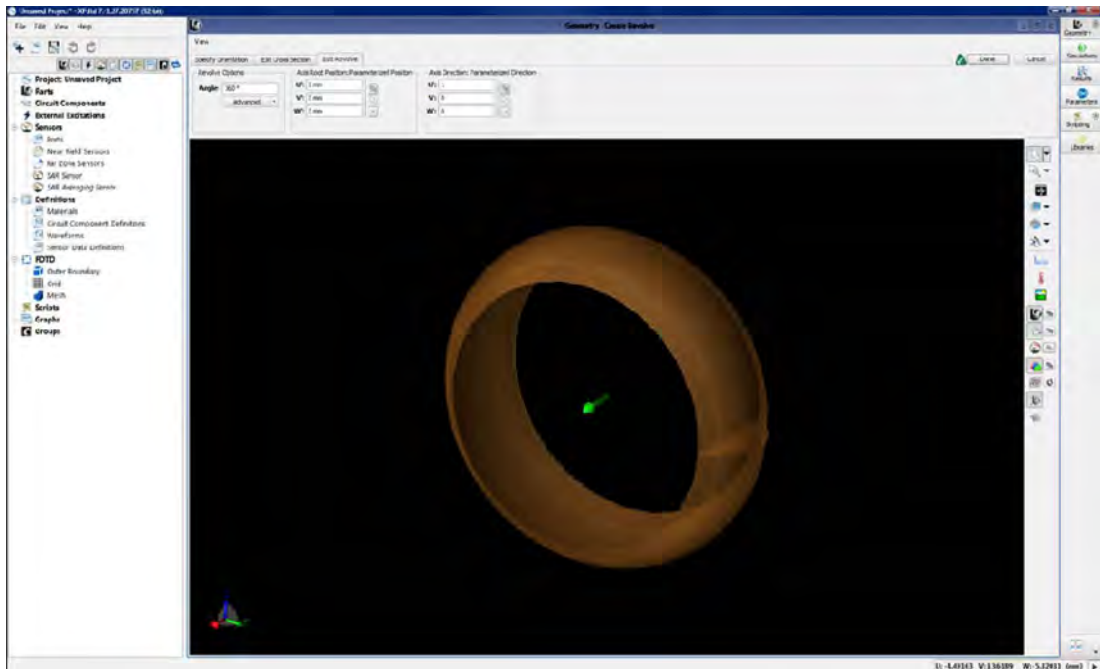


图 3-4 XFdtd 创建的指环模型

### 3.7 支持各种 CAD 模型导入

XFDTD 支持业界常用 CAD 工具，支持 SAT、SAB、STEP、IGES、Parasolid、ProE、DXF、STL、VDA FS、UG、SolidWorks、Inventor、CATIAV4/V5、VariPose volume data 等文件格式的导入和导出。

### 3.8 强大的后处理能力

XFDTD 后处理功能非常强大：

- 提供二维场、电流显示，三维稳态表面电流显示，二维 SAR 值显示，还可以将瞬态场强记录下来，生成动画，便于工程师交流；
- 提供近场、电流随时间的变化，阻抗、S 参数随频率的变化，天线方向图、电压驻波比（VSWR）、辐射效率等，能对瞬态结果进行快速傅立叶变换；
- 电场分布图可真实再现平面电磁场分布状态，帮助工程师观察器件的振荡情况，找到耦合关系等；
- 交互显示历史仿真记录，保存每次仿真结果，专门的结果浏览器查看不同工程的不同次仿真结果，当历史仿真结果过多时，过滤和查找功能辅助快速查找仿真结果；
- 基于鼠标的结果图表导航功能，可以通过鼠标滚轴来控制缩放，即使是大数据量的图表结果，显示效果也非常流畅；
- 仿真过程自动更新结果显示，方便实时查看；
- 通过多种智能选项自定义图表显示结果，包含 4 种（水平、垂直、十字、点）标记方式，结果可导出为数据和图片。

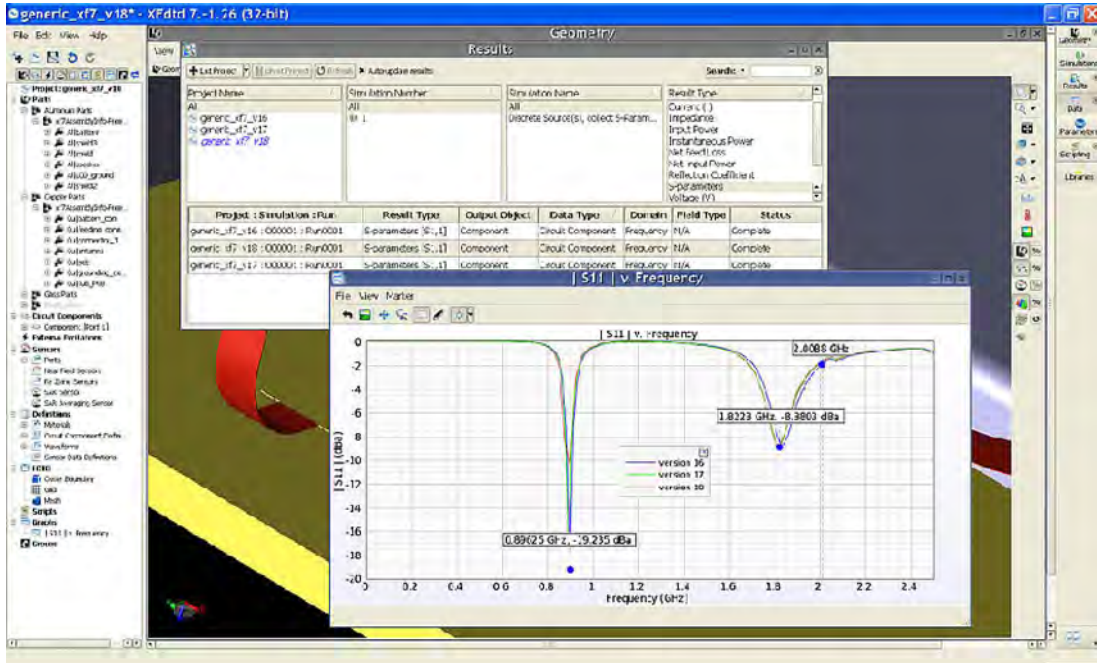


图 3-5 结果显示浏览器示例

### 3.9 自定义脚本功能

XFdtd 提供强大的 API，允许用户自定义功能特性：

- Function Scripts ;
- Macro Scripts ;
- Full featured Script Editor 。

用户可通过脚本语言开发自定义的功能对话框，通过 API 函数调用 XFdtd，极大地增加了软件的扩展性。

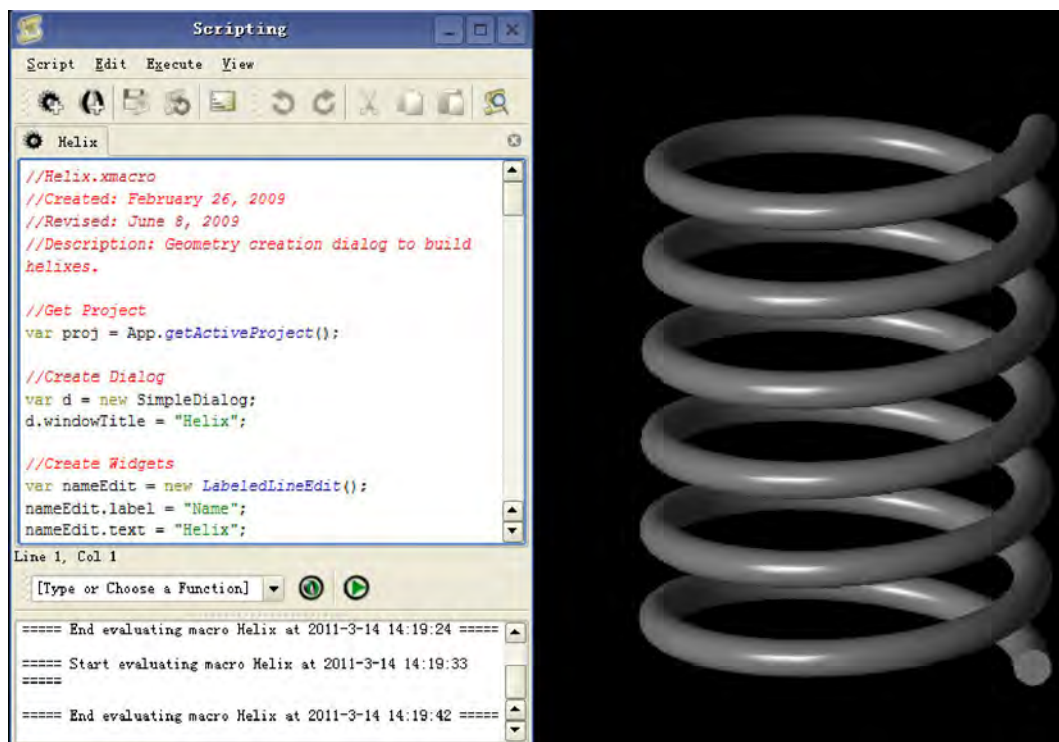


图 3-6 通过脚本程序创建手机外置螺旋天线

### 3.10 支持丰富激励源

XFDTD 支持三种不同的信号源：离散源、平面波、高斯柱，可以满足不同应用需要，如使用离散源来激励天线，使用平面波激励来计算近场特性；可以模拟各种激励波形：高斯脉冲、高斯微分脉冲、高斯调制脉冲、正弦波、自定义波形等；可以模拟各种端口特性：带有串、并联 RLC 的电压、电流源，非线性电容，可编程设置开关，二极管，无源 RLC 负载等。

## 4 运行环境和配置

XFdtd 是业界第一个可以无差别地在 WINDOWS/MAC/LINUX 平台上运行的电磁仿真软件，用户在不同系统下可以操作相同的软件界面。具体运行环境和配置要求如下：

XFdtd 支持如下操作系统：

- Microsoft Windows XP、Vista 和 Win7，支持 32 和 64 位版本；
- Red Hat Enterprise Linux 5 或其他系列版本，支持 32 和 64 位版本；
- Mac: OS X 10.5 (Leopard) 或更高版本。

系统硬件最低要求：

- 1GB 内存，推荐使用 2GB (或更多)；
- 1024 x 768 显示分辨率(1280 x 1024 或更高)；
- ATI Radeon 7500 或 nVidia GeForce 4 或更高性能显卡；
- 250 MB 硬盘空间用于安装软件；
- 300 MB 以上硬盘空间用于安装案例文件。

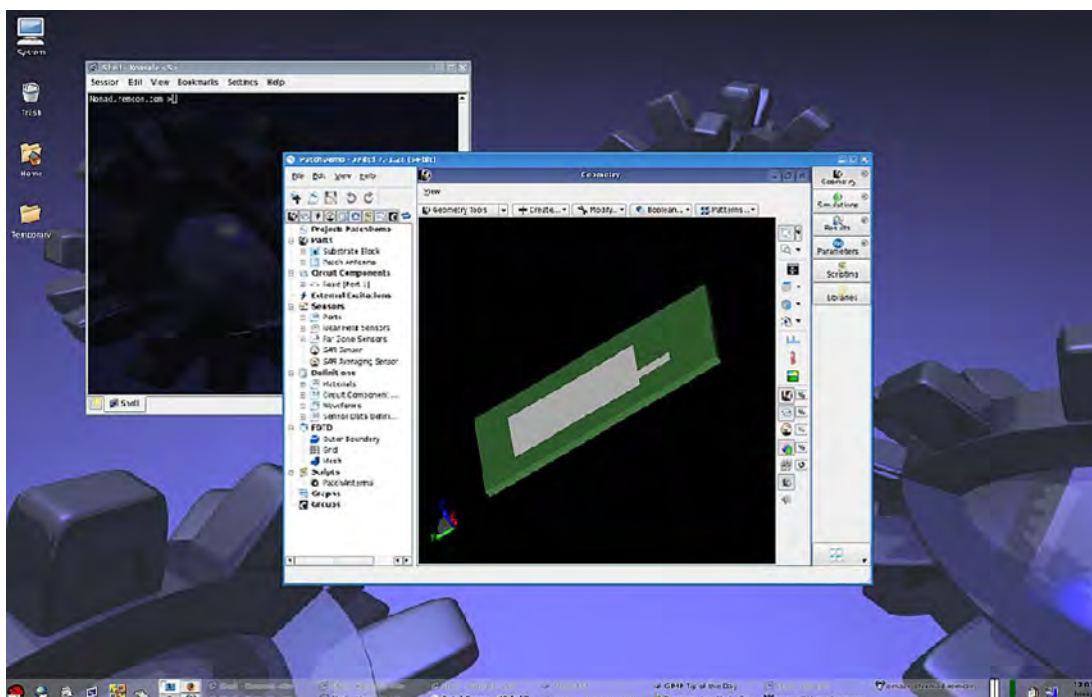


图 4-1 Linux 平台界面

## 5 总结

- XFdtd 是最好的基于 FDTD 方法全波三维电磁场仿真软件；
- 广泛应用于天线及阵列、天线布局、微波器件、电磁兼容、生物电磁、特殊材料、光子晶体等领域；
- 非常适合仿真宽带、瞬态、复杂精细结构天线及阵列、天线布局、生物电磁效应；
- 瞬态宽频处理能力强、求解电大尺寸复杂精细结构效率高、适合并行、易处理各种材料；
- GPU 硬件加速达 50~300 倍、OpenMP 和 MPI 并行性能卓越；
- 界面友好、建模方便、后处理能力强。

## 6 关于未尔

未尔是国内领先的综合仿真解决方案供应商，总部位于北京，在成都、上海、广州以及海外建立了办事机构。长期以来，秉承与客户双赢的信念，未尔以强大团结的研发队伍，先进完善的各类产品，精湛优秀的技术水平，热忱高效的服务素质，勤奋务实的工作态度，谋求与客户共同发展。

未尔产品和解决方案涵盖了天线系统和电磁兼容，微波器件和射频电路，无线信道和电波传播，通信和网络，虚拟和现实等方面，从应用上全面覆盖航空、航天、船舶、车辆与轨道交通、电子与电信等多个领域，为客户提供产品数十款，并针对用户的不同需求提供相应的培训课程、咨询服务，以及项目开发。

未尔以其独有的凝聚力，汇集着一支高素质的管理，研发，销售和服务团队。在高速发展过程中，未尔秉承客户至上、诚信为本的理念，以自身先进的管理方法，强大的技术实力，丰富的市场经验，专业的服务技能和积极进取的态度，为广大用户提供最优质完善的服务。

[www.vi-re.com](http://www.vi-re.com)

未尔科技

地址：北京市海淀区北邮科技大厦 12 层

电话：010-62281510

传真：010-62281380

邮件：[support@vi-re.com](mailto:support@vi-re.com)