

Visualização Interativa Aplicada ao Estudo de Campos Eletromagnéticos

ANA ELISA FERREIRA SCHMIDT¹
CARLA M. DAL SASSO FREITAS¹
ADROALDO RAIZER²

1- Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituto de Informática - II
Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação - CPGCC
Caixa Postal 15064 - CEP 91501-970
Porto Alegre, RS, Brasil

2- GRUCAD - Departamento de Engenharia Elétrica - UFSC
Florianópolis, SC, Brasil
anaelisa@inf.ufrgs.br
carla@inf.ufrgs.br
adroaldo@tesla.grucad.ufsc.br

Abstract. This work presents an interactive visualization tool for exploring data obtained from finite element analysis of electromagnetic fields in geometrically defined tridimensional objects. The visualization tool is part of a system whose architecture is also presented. The user interface and available visualization techniques are also commented. The paper emphasizes tool features like portability, flexibility, extensibility, and interaction.

1 Introdução

O método de elementos finitos bidimensional e tridimensional geralmente produz como resultado grandes conjuntos de dados. O uso desta técnica demanda uma considerável capacidade computacional; com o avanço do *hardware* permitindo maior velocidade de processamento e com o desenvolvimento de novas tecnologias que atuam na computação numérica, estão sendo gerados conjuntos de dados cada vez maiores.

Devido ao seu caráter de análise e exploração visual o tratamento de resultados da análise pelo método de elementos finitos pode ser considerado como uma aplicação de visualização científica, onde existe uma necessidade real de se produzir representações visuais dos conjuntos de dados resultantes em um tempo aceitável para o usuário [NIE 91].

Usualmente resultados oriundos da análise pelo método de elementos finitos são exibidos numa etapa de pós-processamento. Depois de ter sido feita a análise pelo método de elementos finitos propriamente dito, campos escalares e vetoriais são escolhidos para visualização e seus valores são mapeados sobre a geometria em análise. Planos de corte são usados para a exploração do interior dos objetos. No entanto, características mais complexas apresentam certa dificuldade de serem analisadas através desta técnica. De forma a contornar este problema, alguns autores estão aplicando técnicas de visualização volumétrica

para exploração de tais dados [KOY 91].

Muitos autores tem relatado estudos sobre a fase de pós-processamento de resultados tridimensionais da análise do método de elementos finitos sob diferentes perspectivas [KOY 91], [BAL 91], [MEU 91], [YAM 92], [BID 88]: técnicas de visualização, estruturas de dados, ferramentas de exploração e interfaces com o usuário intimamente ligadas às suas aplicações específicas. Um crescimento qualitativo na concepção de tais sistemas pode ser obtido se forem consideradas características como portabilidade, flexibilidade, extensibilidade e interação.

Neste trabalho apresenta-se o **EFVis** - *Electromagnetic Fields Visualization tool*, que é uma ferramenta de visualização interativa, na forma de pós-processador, que oferece ferramentas para a análise e exploração de dados escalares e vetoriais produzidos pelo método de elementos finitos aplicado ao estudo de campos eletromagnéticos em objetos tridimensionais. As características de portabilidade, flexibilidade, extensibilidade e interação são especialmente buscadas no desenvolvimento do EFVis.

2 EFVis - Descrição Geral

Para que se possa ter uma noção do funcionamento geral do EFVis, é necessário descrever a estrutura de todo o sistema de cálculo de campos eletromagnéticos, EFCAD-3D, no qual ele está inserido. Os módulos de pré-processamento e processamento do EFCAD-3D

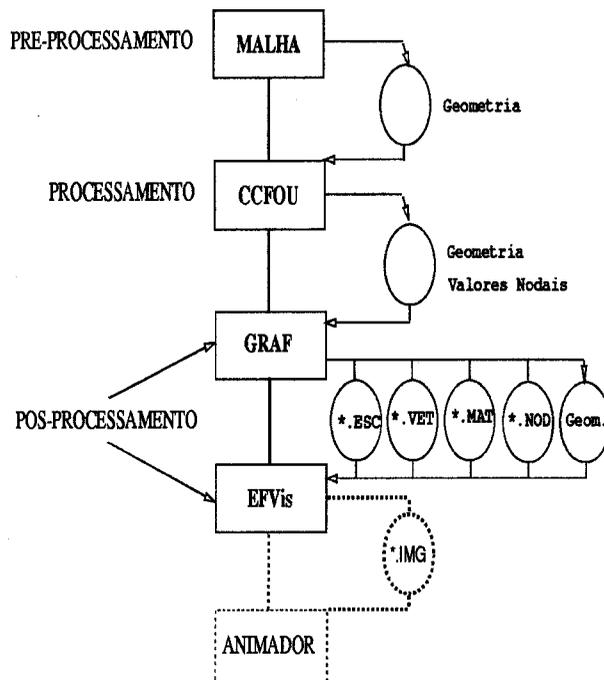


Figura 1: Diagrama Global do EFCAD-3D

foram desenvolvidos pelo GRUCAD, grupo de pesquisa do Depto. de Engenharia Elétrica da UFSC. O EFVis está em desenvolvimento, baseado numa plataforma Unix (estações Sun), e sendo implementado na linguagem de programação C. A figura 1 mostra o diagrama global do contexto onde o EFVis está inserido.

A fase de pré-processamento é feita pelo módulo **MALHA**, onde o usuário modela a geometria do objeto, fornecendo informações a respeito de materiais, correntes induzidas, e outros fatores que possam influenciar no cálculo do método de elementos finitos. Nesta fase também ocorre a discretização da geometria, através da aplicação de um método de "malhagem" sobre o objeto.

A fase de processamento é realizada pelo módulo **CCFOU**, que implementa o método de elementos finitos propriamente dito. Este módulo recebe a descrição da geometria e demais fatores oriundos do módulo **MALHA** e gera como saída esta mesma geometria acrescida dos valores nodais calculados pelo método de elementos finitos.

A fase de pós-processamento é realizada atualmente por dois módulos: o **GRAF** e o **EFVis**. O **GRAF** é o antigo módulo de exploração e visualização do sistema EFCAD-3D, desenvolvido antes do EFVis. Atualmente a função do **GRAF** é gerar os arquivos de entrada para o EFVis, tornando este último o único responsável pelo pós-processamento

dos resultados. O **GRAF** será substituído por um módulo gerador de resultados escalares e vetoriais, que fará uso de uma biblioteca de funções de cálculo de campos eletromagnéticos.

Está previsto, como uma extensão futura do sistema, o desenvolvimento do **módulo de animação de seqüências de imagens** geradas no momento do pós-processamento. Através da animação o usuário poderá ver uma simulação, em tempo real, do que está acontecendo no universo do seu problema.

Apesar de estar atualmente integrado ao sistema EFCAD-3D, o EFVis é uma aplicação independente, isto é, ele não trata especificamente da visualização de campos eletromagnéticos. Isto tornou-se possível porque o sistema trata qualquer dado que possa ser classificado como escalar (por exemplo, valores de temperatura, potenciais); quantidades vetoriais (campos elétricos e indução magnética); e descrições de geometria (elementos, faces). Qualquer aplicação cujos dados possam ser classificados de acordo com estas categorias podem usar o EFVis como ferramenta de visualização.

Os dados usados pelo EFVis provêm de diferentes arquivos (figura 1):

- escalares (*.ESC);
- vetoriais (*.VET);
- descrição de geometria;
- valores nodais (*.NOD) e
- descrição de materiais (*.MAT).

3 Interface com o Usuário

EFVis é interativo e usa uma interface baseada em janelas, com menus pop-up e ícones, como pode ser visto na figura 2. O usuário pode facilmente selecionar uma quantidade, escolher como representá-la graficamente, e como "explorar" o espaço dos dados durante a visualização. A navegação é feita através de uma câmera sintética [OLA 89], guiada por uma interface icônica. A navegação é efetuada ao redor do objeto, no espaço. A interface do EFVis segue o padrão Open Look [OPE 89] e foi desenvolvida usando a ferramenta GUIDE [GUI 89]. As imagens estão sendo geradas utilizando funções da Xlib [ORE 88].

O sistema ainda permite que o usuário possa visualizar mais de um tipo de resultado (escalar ou vetorial), representados por diferentes técnicas de visualização, em uma única imagem gerada. Representações gráficas de qualquer número de quantidades e técnicas podem ser compostas. Esta característica permite, por exemplo, que o usuário visua-

lize a distribuição do campo vetorial que representa a indução magnética, sobre a geometria do objeto, juntamente com a representação volumétrica dos materiais que compõem esta mesma peça. Cabe ao usuário selecionar um número coerente de quantidades a serem exibidas de forma a manter o grau de compreensão visual da imagem final gerada.

Alguns resultados que não possuem representação visual são apresentados de forma numérica em uma janela especial após a solicitação do usuário.

4 Ferramentas de Exploração

Como ferramentas de exploração e suporte para representação dos resultados, o EFVis prevê os seguintes recursos:

- definição de planos de corte, posicionados pelo usuário, para permitir a exploração e visualização do interior dos objetos;
- utilização de transparência, para que o usuário possa visualizar partes do objeto que não estão aparentemente visíveis, sem que seja necessário utilizar planos de corte;
- zoom, para permitir a observação de detalhes de uma região selecionada e
- seleção de entidades geométricas (pontos, curvas e faces) para o cálculo dos resultados numéricos.

5 Técnicas de Visualização

Uma boa seleção de técnicas de visualização é intrinsecamente dependente da natureza dos resultados que se deseja observar. Uma excelente introdução à técnicas de visualização pode ser encontrada em [BRO 92]. Para atender ao princípio de flexibilidade e atender ao universo de problemas a que o EFVis se propõe representar, algumas técnicas foram escolhidas:

- Representação Bidimensional de Valores Escalares:

Linhas de contorno: para um conjunto de valores de pontos, em um plano bidimensional, são desenhadas isolinhas;

Preenchimento discreto de contornos: para um conjunto de pontos em um plano, as áreas entre duas isolinhas são preenchidas com diferentes tons de cores.

- Representação Tridimensional de Valores Escalares:

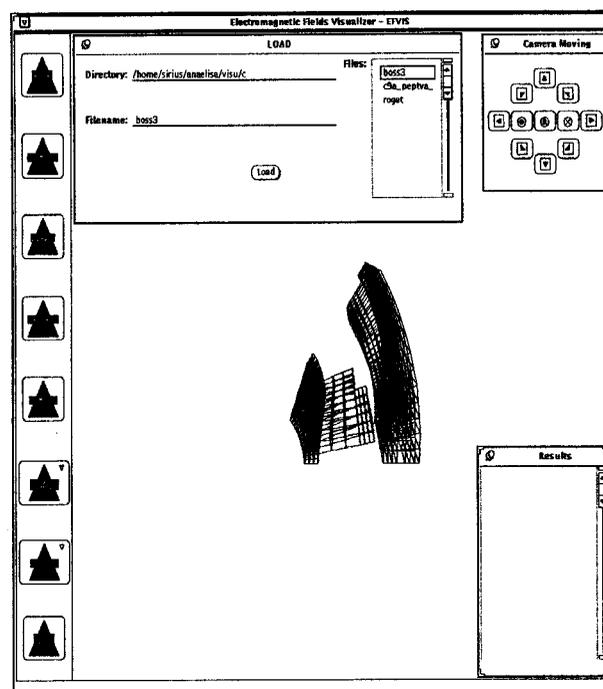


Figura 2: Interface do EFVis

Representação de isosuperfícies: para um conjunto de pontos representados no espaço 3D, são exibidas as superfícies de valores constantes dentro de um volume. Estas superfícies podem ser representadas de forma aramada; preenchida com cores; ou com transparência;

Representação Volumétrica: cores e opacidades são associadas a cada valor tridimensional presente no volume do objeto. A imagem resultante transmite a sensação de se estar vendo o volume como um todo, inclusive regiões interiores, dependendo do grau de opacidade associado a cada elemento do volume.

- Representação de Campos Vetoriais:

Ícones de setas 2D e 3D: representação de vetores, sobre um plano (2D) ou sobre um volume (3D), através do uso de ícones. No plano, as setas podem estar saindo ou entrando; no volume a sensação de profundidade é provida pela atribuição de cores e iluminação para os vetores 3D;

- Representação dos Materiais que compõem o Objeto:

Preenchimento discreto de regiões: os diferentes tipos de materiais (madeira, ferro, ar) que compõem o objeto em questão podem ser visualizados através da atribuição de cores diferentes

para as partes da geometria à qual cada material está associado. Pode-se visualizar a geometria em *wireframe*, com preenchimento das faces por cores ou, ainda, volumetricamente, com ou sem transparência.

6 Estado Atual e Conclusões

Atualmente o EFVis está integrado ao EFCAD-3D. O suporte para navegação ao redor do objeto através da câmera sintética e as técnicas para a exibição dos materiais que compõem o objeto estão totalmente implementadas. A representação volumétrica com transparência está em fase de desenvolvimento. Tarefas futuras no desenvolvimento do EFVis são a implementação das demais técnicas de exploração e visualização mencionadas nas seções anteriores.

As características pretendidas, citadas anteriormente, estão sendo trabalhadas da seguinte forma:

- a interação é o enfoque central e, como tal, o desenvolvimento da interface foi o ponto de partida da ferramenta;
- a portabilidade, tem sido mantido pelo uso de funções da Xlib e do GUIDE. O GUIDE gera código XView, que é facilmente portátil para qualquer outra plataforma do padrão Open Look;
- quanto à flexibilidade, a interface com o usuário permite a livre seleção de quantidades e formas de representações visuais;
- extensibilidade tem sido obtida através do uso de programação modular. Isto tem sido importante durante todo o desenvolvimento do EFVis, porque os módulos podem ser facilmente conectados e desconectados do sistema, sem interferir naqueles que já estão completamente operacionais.

7 Agradecimentos

Agradecemos o apoio da equipe do GRUCAD-UFSC e, em especial, as sugestões do prof. Flávio Wagner quanto à interface gráfica do EFVis.

8 Referências

- [BAL 91] BALA, G. P.. FEMvis: An interactive visualization tool for mechanical analysis. *IBM Journal of Research and Development* v.35, n.1-2, pp.4-11, Jan./March, 1991.
- [BID 88] BIDDLECOMBE, C. S.; RILEY, C. P.. Post-Processing of 3D Eletromagnetic Field Calculations. *IEEE Transactions on Magnetism* v.24, n.1, pp374-377, Jan., 1988.

[BRO 92] BRODLIE, K. W.; et al. (eds.). *Scientific Visualization - Techniques and Applications*, Springer Verlag, Berlim, 1992.

[GUI 89] GUIDE - Sun Microsystems. *Graphical User Interface Development Guide*, Sun Microsystems, Mountain View, CA, 1989.

[KOY 91] KOYAMADA, K.; NISHIO, T.. Volume Visualization of 3D Finite Element Method Results. *IBM Journal of Research and Development* v.35, n.1/2, pp.12-25, Jan./March, 1991.

[MEU 91] MEUNIER, G.; SABONNADIHRE, J. C.; COULOMB, J. L.. The Finite Element Post-Processor of FLUX3D. *IEEE Transaction on Magnetism* v.27, n.5, pp.3786-3797, Sept. 1991.

[NIE 91] NIELSON, G.. Visualization in Scientific and Engineering Computation. *Computer*. v.24, n.9, pp58-66, Sept. 1991.

[OLA 89] OLABARRIAGA, S. D.. Relatório sobre o Pipe3D: Pib Line para Visualização Tridimensional. *Relatório sobre o Pipe3D* Lisboa - INESC, 1989.

[OPE 89] OPEN SOFTWARE FOUNDATION. *OSF/MOTIF Manual*, Open Software Foundation, Cambridge, MA, 1989.

[ORE 92] O'REILLY and Assoc.. *Xlib Programming Manual*, O'Reilly and Assoc., Newton, 1988.

[SUN 89] SUN Microsystems. *Open Look Graphical User Interface*, Mountain View, CA, 1989.

[YAM 92] YAMASHITA, T.; NAKAMAE, E. J.. Interactive Visualization of Interaction between Magnetic Flux Density and Eddy Currents in a Steady State Field. *IEEE Transactions on Magnetism* v.28, n.2, pp.1778-1781, March, 1992.