

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

JON ESKIL BENDZ

MODELAGEM, SIMULAÇÃO, E VISUALIZAÇÃO IMERSIVA DE
REDES SEM FIO

São Paulo
2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

JON ESKIL BENDZ

MODELAGEM, SIMULAÇÃO, E VISUALIZAÇÃO IMERSIVA DE
REDES SEM FIO

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para ob-
tenção do Título de Doutor em Engen-
haria Elétrica

São Paulo
2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

JON ESKIL BENDZ

MODELAGEM, SIMULAÇÃO, E VISUALIZAÇÃO IMERSIVA DE
REDES SEM FIO

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para ob-
tenção do Título de Doutor em Engen-
haria Elétrica

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Knörich Zuffo

São Paulo
2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 20 de junho de 2008.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Bendz, Jon Eskil

Modelagem, simulação, e visualização imersiva de redes sem fio / J.E. Bendz. --ed.rev.-- São Paulo, 2008.
139 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1.Visualização 2.Cálculo numérico 3.Telecomunicações
4.Teoria eletromagnética I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II.t.

À Malin, com amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Knörich Zuffo, o meu orientador pela coragem de aceitar um estrangeiro totalmente desconhecido, e o apoio forte em tempos difíceis.

Ao amigo e colega Hilton Fernandes por discussões interessantes e as milhares dicas valiosas. Um verdadeiro catalisador da minha pesquisa.

Ao Olavo Belloc, por o trabalho e a ajuda com as visualizações imersivas.

À professora Iara Visconte, a minha professora de português que me ensinou esta língua bonita.

À Francesca Neglia, que sempre me ajudou com a administração.

Aos colegas do laboratório, Rafael Herrero, e Maryana Alegro que nunca hesitaram em me fornecer conhecimento de suas áreas de perícia.

Por amizade, Celio Hira, Márcia Kondo, Ilana Souza, Rogério Nunes, Eduardo Carvalho, dentre tantos outros amigos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado.

RESUMO

Visualizações imersivas são muito valiosas para melhorar a compreensão de uma variedade de fenômenos físicos, que podem ser eventualmente modelados na forma discreta e simulados por computador. Dentre possíveis aplicações podemos utilizar a visualização imersiva como ferramenta pedagógica para percepção aumentada de tópicos complexos, ou como uma poderosa ferramenta de apoio analítico para ajudar os engenheiros a interpretar os resultados de projetos. Este projeto de pesquisa aborda o uso da visualização imersiva de campos eletromagnéticos, especificamente os campos gerados por redes sem fio, largamente utilizadas no cotidiano como é o caso das redes IEEE 802.11 (Wi-Fi). Para tanto este trabalho propõe métodos novos para visualizar, em três dimensões, campos eletromagnéticos variantes no tempo e distribuições de parâmetros interessantes relacionados a redes sem fio. Para atingir este objetivo, uma versão aprimorada do método de diferenças-finitas no domínio do tempo (FDTD) é desenvolvido: o método FDTD de alta ordem e malha grosseira (*Coarse Grid Higher Order FDTD*, CGHO-FDTD). Portanto, soluções numéricas muito precisas, mais rápidas, e computacionalmente mais eficientes das equações de Maxwell podem ser obtidas. Os cálculos numéricos podem ser ainda mais rápidos pelo uso de computação paralela em um aglomerado de computadores. As características de domínio de tempo facilitam a criação de instantâneos de campos eletromagnéticos que estão se propagando, e desta maneira é possível criar figuras e animações tri-dimensionais que podem ser usadas para explicar alguns dos seguintes fenômenos físicos comuns em redes sem fio: difração, reflexão, e atenuação. Para que aumente a percepção física ainda mais, visualizações imersivas são feitas em um ambiente de realidade virtual. Por fim, a ferramenta desenvolvida também pode ser usada para criar distribuições muito detalhadas de parâmetros importantes que afetam o desempenho em uma rede sem fio. É mostrado que simulações de um ambiente fechado para prever a distribuição de potência de uma rede sem fio do tipo IEEE 802.11 (Wi-Fi), estão de acordo com as medidas.

Palavras-chave: Diferenças-finitas no domínio do tempo (FDTD), propagação de ondas eletromagnéticas, visualização tri-dimensional, redes sem fio, visualização imersiva.

ABSTRACT

Immersive visualizations are very valuable in order to improve the understanding of a variety of physical phenomena that can be modeled numerically and simulated by computers. Amongst the possible applications, we could utilize immersive visualizations as a pedagogical tool for enhanced perception of complex topics, or as a powerful tool that helps engineers interpret the outcome of simulations. This research project approaches the use of immersive visualizations of electromagnetic fields, especially fields generated by wireless networks widely utilized in the everyday life, as is the case for networks of the type IEEE 802.11 (Wi-Fi). For such a purpose this work proposes new methods to three-dimensionally visualize time-varying electromagnetic fields, and distributions of interesting parameters related to wireless networks. To achieve these objectives, a better version of the finite-difference time-domain (FDTD) method is developed: the Coarse Grid Higher Order FDTD (CGHO-FDTD) method. Thus highly accurate, faster and more computationally efficient numerical solutions of Maxwell's equations can be obtained. The numerical calculations are made even faster by the use of parallel computing on a cluster of computers. The characteristics of the time domain facilitate the creation of snapshots of the propagating electromagnetic fields, and in this manner it is possible to create three-dimensional figures and animations that can be used to explain some of the following common physical effects found in wireless networks: diffraction, reflection, and attenuation. To further enhance the perception of the physics, immersive visualizations are carried out in a virtual reality environment. Finally, the developed tool can also be used to create highly detailed distributions of important parameters that affect the performance in wireless networks. It is shown that simulations to predict the power distribution in an indoor wireless network of the type IEEE 802.11 (Wi-Fi), agree very well with measurements.

Keywords: Finite-difference time-domain (FDTD), propagating electromagnetic waves, three-dimensional visualization, wireless networks, immersive visualization.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | A célula de Yee original e as posições dos vetores dos campos elétricos e magnéticos. (YEE, 1966) | 9 |
| 2.2 | Dispersão numérica teórica para FDTD original. $N_\lambda = 20$ | 14 |
| 2.3 | Os campos elétricos, E_x e E_y , necessários para calcular o campo magnético, H_z , para o caso de FDTD de alta ordem. | 18 |
| 2.4 | Dispersão numérica teórica para (2,4) FDTD. $N_\lambda = 10$ | 19 |
| 2.5 | O erro da dispersão numérica teórica para o esquema <i>Isotropy-Improved NSFD (2,4)</i> . $N_\lambda = 10$, $S = 0,3$. (YANG; BALANIS, 2005) | 21 |
| 3.1 | Reflexão e refração entre dois materiais diferentes. (BOOTHROYD; CHAN; ROBERTSON, 1996) | 24 |
| 3.2 | Linhas do campo elétrico ao redor dum dipolo elétrico. (MIT, 2003-2007).. | 25 |
| 3.3 | Disposição de um escritório (à esq.). Instantâneo do campo E_z naquele mesmo escritório (à dir.). (LEUNG; CHEN; LEE, 2002) | 26 |
| 3.4 | Trajetória de um feixe de pósitrons num campo magnético variando periodicamente, mostrada num ambiente de realidade virtual. (HUANG et al., 1996) | 26 |
| 3.5 | Os 15 cubos básicos. (LORENSEN; CLINE, 1987) | 28 |
| 3.6 | Estrutura da CAVERNA Digital (SOARES, 2005) | 30 |
| 3.7 | Etapas da visualização do algoritmo FDTD na CAVERNA Digital. | 31 |
| 3.8 | A aparência de um pulso Gaussiano senoidal. | 32 |
| 4.1 | Pares de coeficientes otimizados, C_1 e C_2 , em função da densidade de pontos na malha, N_λ | 38 |
| 4.2 | Erros numéricos esperados para alguns esquemas de FDTD de alta ordem em função da direção de propagação, ϕ , na malha. | 39 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.3 | O erro numérico de dispersão versus a resolução da malha para os casos de Yee, Std Fang, Opt Fang, e o esquema de CGHO-FDTD. Os dois métodos de FDTD de alta ordem otimizados, têm sido projetados para $N_\lambda = 10$. . . | 41 |
| 4.4 | O arranjo das paredes de concreto no ambiente realístico. | 43 |
| 4.5 | Erros esperados para o esquema de 3D CGHO-FDTD em função da direção de propagação, ϕ e θ , na malha. $N_\lambda = 10$ | 46 |
| 4.6 | O erro de dispersão versus resolução da malha para Yee, Std Fang, e os dois esquemas de 3D CGHO-FDTD, respectivamente otimizados a $N_\lambda = 7$ e $N_\lambda = 10$ | 48 |
| 4.7 | Um ambiente realístico. As linhas negras indicam as três direções de propagação investigadas. | 50 |
| 6.1 | Quatro instantâneos do pulso em propagação depois de 80, 160, 320 e 400 passos de tempo (u.a. = unidades arbitrárias). | 62 |
| 6.2 | Seis instantâneos de um pulso em propagação depois de 200, 280, 360, 440, 520 e 600 passos de tempo (u.a. = unidades arbitrárias). | 64 |
| 6.3 | O cenário a ser visualizado na CAVERNA Digital. | 67 |
| 6.4 | Fotos das visualizações imersivas na CAVERNA Digital (acima), e os mesmos instantâneos vistos na tela como vrml (abaixo). | 69 |
| 7.1 | Distribuição em 3D dos valores de potência. O edifício completo é mostrado na imagem à esquerda, e apenas o primeiro andar é visto à direita. | 75 |
| 7.2 | Distribuição em 3D dos valores de taxa de transmissão esperada. | 76 |
| 7.3 | Distribuição em 3D dos valores de taxa de transmissão esperada sob a influência de um sinal interferente. | 77 |
| 7.4 | A influência de materiais diferentes na distribuição da potência. | 78 |
| 8.1 | Panorama geral do cenário residencial. | 81 |
| 8.2 | Panorama dos dois andares. Primeiro andar à esq. e segundo andar à dir. . . | 81 |
| 8.3 | As localizações dos pontos da medida e os valores médios usando o OLPC. Primeiro andar à esq. e segundo andar à dir. | 84 |
| 8.4 | A distribuição da potência para o cenário residencial. Primeiro andar acima, e segundo andar abaixo. | 87 |

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

