

ANEXO VII

CAPES – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR	AUXÍLIO N.º 152-05 – CAPES/GRICES
---	-----------------------------------

RELATÓRIO FINAL de CUMPRIMENTO DO OBJETO

Nome do Beneficiário:	Período a que se refere o relatório:
Sônia Maria Gomes	
Instituição Beneficiada:	De: 01/03/05 a 29/02 /08
Universidade Estadual de Campinas	

1. Dados do Projeto

Título do Projeto: Estudo de Métodos Numéricos para a resolução das Equações de Maxwell

Equipe em Portugal:

1. José Fernando da Rocha Pereira (coordenador) - Professor Associado do Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro
2. Paulo Jorge dos Santos Gonçalves Ferreira - Professor Catedrático do Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro
3. Pedro Renato Tavares Pinho - Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Equipe no Brasil:

1. Anamaria Gomide - Professor Assistente Doutor do Instituto de Computação da Unicamp, Campinas, SP
2. Andrielber da Silva Oliveira - Aluno de Doutorado em Matemática Aplicada do IMECC-Unicamp (bolsista FAPESP), Campinas, SP

3. Margarete Oliveira Domingues - Pesquisador Adjunto do LAC-INPE, São José dos Campos, SP

4. Sônia Maria Gomes (coordenadora) - Professora Titular do IMECC-Unicamp, Campinas, SP

2. Introdução

O projeto enquadra-se na área de Análise Numérica, com enfoque em esquemas adaptativos no contexto de análise wavelet. Durante o projeto, as equipes colaboraram no desenvolvimento de métodos adaptativos de diferenças finitas usando wavelets interpolatórias para a resolução das equações de Maxwell.

De acordo com o financiamento concedido, realizaram-se as seguintes missões:

Em Portugal:

Visita da Profa. Sônia Gomes à Universidade de Aveiro, em novembro de 2005.

Estágio de pós-doutorado da Dra. Margarete O. Domingues, realizado em Aveiro, de abril a junho de 2006.

Visita da Profa. Anamaria Gomide à Universidade de Aveiro, em junho de 2006.

Visita da Profa. Sônia Gomes à Universidade de Aveiro, em dezembro de 2007.

No Brasil:

Visita do Prof. Pedro Pinho à Unicamp, em julho de 2005.

Visita do Prof. José Rocha Pereira à Unicamp, em novembro de 2006.

Visita do Prof. Pedro Pinho à Unicamp, em janeiro de 2008.

Foi previsto um estágio de doutorado-sanduiche em Portugal para o aluno Andrielber da Silva Oliveira. No entanto, por motivos de saúde, houve um atraso na conclusão dos créditos e na realização de um dos exames de qualificação, o que impediu a realização do estágio antes do final do projeto.

Descrevem-se a seguir a metodologia adotada e os principais resultados alcançados.

3. Metodologia

Em análise wavelet, funções são representadas por dois tipos de informação. Por um lado estão as informações da função no nível de escala mais refinado. Por outro lado, estão as informações em multinível, que consistem das informações correspondentes ao nível menos refinado e das diferenças de informação entre um nível de escala e o seu consecutivo. Neste contexto, que é conhecida como análise de multirresolução, as

principais ferramentas são transformações que relacionam esses dois tipos de informação. É importante que essas transformações possam ser executadas de maneira eficiente, o que significa dizer que os algoritmos devem ser rápidos e estáveis.

Nas aplicações deste projeto, consideram-se análises de multirresolução para valores pontuais. O principal ingrediente consiste de um algoritmo de refinamento interpolador que, a partir das informações correspondentes a um certo nível, fornecem aproximações no nível seguinte mais refinado, interpolando nos pontos antigos. Os coeficientes wavelet são as diferenças de informação entre os valores exatos e os valores aproximados fornecidos pelo algoritmo de refinamento nos pontos novos, ou seja, erros de interpolação.

Nesse contexto de análise de multiresolução interpolante, considera-se o esquema adaptativo de diferenças finitas SPR (Sparse Point Representation), cujos ingredientes básicos são:

- a) Um esquema de diferenças finitas para malhas uniformes que seja consistente e estável;
- b) Uma análise de multirresolução para valores pontuais baseada em um esquema de refinamento por interpolação polinomial.

Em um dado nível de tempo, representa-se a solução por seus valores pontuais em uma malha adaptativa. No domínio das wavelets, essa representação corresponde a uma expansão lacunar de wavelets, em que cada componente significativa está associada a um ponto da malha. A evolução temporal para o tempo seguinte envolve três etapas. Primeiro a malha é estendida, para prever possíveis aparecimentos de novas estruturas que exijam mais refinamento. A seguir, as diferenças finitas são aplicadas em cada ponto da malha estendida. Se algum valor pontual for necessário mas o ponto não estiver presente na malha, ele é estimado usando o esquema de refinamento interpolador. Para reduzir os cálculos, pode-se usar como passo espacial o tamanho da escala local do ponto. Depois da evolução temporal, a terceira etapa consiste em efetuar a análise wavelet seguida do *thresholding*, eliminando as componentes wavelet cujos coeficientes sejam insignificantes, para se obter uma representação mais ajustada.

4. Resultados Alcançados

Com relação a esse tema, as seguintes metas foram alcançadas na aplicação do esquema SPR ao sistema de equações de Maxwell:

- Análise detalhada de dispersão e estabilidade de esquemas de diferenças de alta ordem espacial em malhas entrelaçadas e coincidentes, que são adotados no esquema SPR.
- Implementação do esquema SPR em malhas entrelaçadas unidimensionais.
- Implementação do esquema SPR em malhas coincidentes unidimensionais.

- Implementação do esquema SPR em malhas coincidentes para o sistema de Maxwell em dimensão 2 (TE mode), com tratamento PEC na fronteira.
- Incorporação de condições absorventes do tipo PML (Perfect Matching Layer) e de meio não homogêneo no esquema SPR.
- Incorporação no código SPR de esquemas de integração temporal de alta ordem do tipo Runge-Kutta Fehlberg e do controle do passo de tempo.
- Análise de consistência do esquema de diferenciação em malhas SPR para verificar o efeito de se usar a escala local nas fórmulas de diferenças finitas.
- Estudo de uma estrutura de dados para representações em malhas diádicas.

Como resultado de nossos estudos, destacam-se as seguintes conclusões:

- A condição de estabilidade dos esquemas de diferenças finitas em malhas entrelaçadas é bem mais restritiva do que no caso de malhas coincidentes;
- O efeito de dispersão numérica é menos acentuado quando se usa malhas entrelaçadas, mas este efeito torna-se menos importante quando se aumentam a ordem dos esquemas e a resolução espacial.
- Fixado o número de células por comprimento de onda, com o esquema de quarta ordem em malhas coincidentes é possível alcançar uma precisão desejada com um CFL maior do que com o método FDTD ou com o esquema de quarta ordem em malhas entrelaçadas.
- O esquema de diferenças finitas em malhas coincidentes é mais simples, o que facilita sua extensão a dimensões superiores e sua combinação com fórmulas de integração temporal de alta ordem.
- Para que o cálculo de operadores de diferenças finitas na malha SPR, usando a escala local de cada ponto, seja consistente com o resultado obtido na malha uniforme do nível mais refinado, são importantes os seguintes fatores: a) a definição apropriada da escala local; b) a estrutura geométrica da malha SPR; c) a operação de refinamento anterior à aplicação dos operadores.
- Demonstrou-se que o esquema SPR é capaz de gerar representações dos campos com malhas adaptadas à regularidade dos mesmos, permitindo seguir a sua propagação com ganho significativo de recursos computacionais quando comparados com simulações do esquema na malha uniforme mais refinada.
- Na presença de heterogeneidades ou regiões de absorção do tipo PML, não foram detectadas alterações significantes na propagação das ondas com respeito à irregularidade das malhas SPR.
- Acreditamos que a incorporação da estrutura de dados de malhas diádicas tornará o esquema SPR ainda mais eficiente, estudo que está em andamento no trabalho de tese do aluno Andrielber S. Oliveira.

- Novos efeitos poderão ser observados com a introdução de fórmulas de diferenças finitas do tipo mimetic, em malhas entrelaçadas, estudo que faz parte do plano de trabalho, em andamento, da tese de doutorado do aluno Andrielber S. Oliveira.

5 Publicações, Artigos Científicos e Congressos

Os textos completos das publicações podem ser obtidos na página web do projeto:

www.ime.unicamp.br/~soniag/ProjetoCapesGrices

Artigos em Revistas

1. P. Pinho, M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide e J. R. Pereira. Interpolating wavelets and adaptive finite difference schemes for solving Maxwell's equations. Publicado na revista IEEE Transactions on Magnetics 43:1013-1022, 2007.
2. M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, J. R. Pereira e P. Pinho. High order adaptive finite-difference schemes for Maxwell's equations - Submetido para publicação na revista IEEE Transactions on Microwave, Theory and Techniques
3. M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, J. R. Pereira e P. Pinho - Sparse point representation of functions and derivatives - a consistency analysis. Submetido para publicação na revista SIAM Multiscale Modeling & Simulation

Relatórios de Pesquisa

1. M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, A. S. Oliveira, J. R. Pereira e P. Pinho – Implementation of absorbing boundary conditions in an adaptive wavelet code for electromagnetic wave propagation in inhomogeneous media . 2008
2. M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, A. S. Oliveira, J. R. Pereira e P. Pinho – Runge-Kutta methods with time step control and adaptive grid refinement for Maxwell's equations. 2008.
3. D. A. Castro, A. S. Oliveira, S. M. Gomes, A. Gomide, J. Stolfi – Análise de multirresolução em malhas diádicas. 2008

Artigos em Anais de Congressos

1. P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, J. R. Pereira e P. Pinho - Análise comparativa de dispersão numérica e estabilidade em diferentes esquemas de diferenças finitas de alta ordem para as equações de Maxwell. IV Encontro de Electromagnetismo Computacional. Seia, Portugal, 2005.

2. P. Pinho, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, J. R. Pereira - Solving Maxwell's equations using interpolating wavelets. 5th Conference in Telecommunications, Lisboa, Portugal, 2005.
3. P. Pinho, S. M. Gomes, P. J. S. Ferreira e J. R. Pereira - Adaptive method in space for the resolution of Maxwell's equations. 13th International Conference on Telecommunications, Funchal, Portugal, 2006.
4. P. Pinho, S. M. Gomes, P. J. S. G. Ferreira, J. R. Pereira, M. O. Domingues, A. Gomide – Resolution of Maxwell's equations in a non staggered grid model. First European Conference in Antennas and Propagation, Nice, França, 2006.
5. P. Pinho, M. O. Domingues, P. J. S. G. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide e J. R. Pereira. Resolução das equações de Maxwell usando wavelets interpolatórias e esquemas adaptativos. V Encontro de Electromagnetismo Computacional, realizado em Barcelona, Espanha, 2007.
6. Adaptive finite difference schemes based on interpolating wavelets solving 2D Maxwell's equations. IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation, Honolulu, Havai. 2007.

Resumo de comunicações em congressos

1. P. Pinho, M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide e J. R. Pereira - Representação de funções usando o SPR. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Matemática, Lisboa, 20 a 23 de junho de 2006.
2. M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, J. R. Pereira e P. Pinho. High order adaptive finite-difference schemes for Maxwell's equations. Second Chilean Workshop on Numerical Analysis of Partial Differential Equations. Concepción, Chile, 2007
3. M. O. Domingues, S. M. Gomes, A. Gomide, P. J. S. Ferreira, J. R. Pereira e P. Pinho. Sparse point representation for functions and derivatives. XXX Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, Florianópolis, 3 a 6 de setembro de 2007.

4 Comentários finais

Como conclusão deste relatório final do projeto, gostaria de realçar, na minha qualidade de coordenadora da equipe brasileira, que os objetivos previstos foram atingidos na colaboração luso-brasileira. Houve uma troca de experiências e idéias entre equipes interdisciplinares, o que favoreceu o enriquecimento da formação dos alunos de pós-graduação e pós-doutorado envolvidos e o estabelecimento de amizades que perdurarão e possibilitarão novos projetos de cooperação futuras.

Assinatura/Carimbo do Executor (Reitor ou Pró-Reitor de Pós-Graduação ou equivalente)
--