

Projeto de Pesquisa

| | |
|---------------------------------------|---|
| Edital: | Edital PIBIC 2012/2013 |
| Título do Projeto: | Consolidação das Linhas de Pesquisa em Computação de Alto Desempenho, Otimização e Inteligência Computacional do PPGI-UFES |
| Participantes: | Alberto Ferreira De Souza (Coordenador-UFES), Lucia Catabriga (UFES), Claudine Santos Badue Gonçalves (UFES), Andréa Maria Pedrosa Valli (UFES), Maria Cristina Rangel (UFES), Maria Claudia Silva Boeres (UFES), Thomas Walter Rauber (UFES), Elias Silva Oliveira (UFES), Flávio Miguel Varejão (UFES), Alvaro Luiz Gayoso de Azeredo Coutinho (Coordenador-UFRJ), José Luís Drummond Alves (UFRJ), Claudio Luis de Amorim (UFRJ), Renato Nascimento Elias (UFRJ), José Jeronimo Camata (NACAD/COPPE/UFRJ). |
| Grupo de Pesquisa CNPq: | Computação de Alto Desempenho, Grafos, Combinatória e Aplicações a Pesquisa Operacional |
| Linha de Pesquisa: | Estratégias de implementação do método dos elementos finitos, Processamento de Alto Desempenho, Inteligência Computacional e Otimização Combinatória |
| Centro/Departamento Acadêmico: | Centro Tecnológico - Departamento de Informática |

Resumo: Este Projeto tem como objetivo central consolidar as linhas de pesquisa em Computação de Alto Desempenho, Otimização e Inteligência Computacional do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), contando para isso com o apoio dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/UFRJ, área interdisciplinar de Computação de Alto Desempenho. Serão realizados trabalhos conjuntos entre as equipes da UFES e da COPPE envolvendo a pesquisa sobre modelagem e simulação em sistemas computacionais de alto desempenho nos seguintes temas: (i) estratégias de implementação do método dos elementos finitos utilizando processamento de alto desempenho; (ii) modelos matemático-computacionais de cognição visual aplicados aos problemas de mapeamento e localização simultâneos (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM) e navegação de veículos autônomos. Além disso, técnicas de Otimização Combinatória aplicáveis aos temas (i) e (ii) serão investigadas. A descrição a seguir é um resumo de 6 páginas do projeto de pesquisa CNPq (552630/2011-0) dentro da Chamada Pública MCTI/CNPq/MEC/Capes - Ação Transversal nº06/2011 – Casadinho/Procad . O texto na sua íntegra pode ser acessado em <http://www.lcad.inf.ufes.br/wiki/>

Palavras chave: Processamento Paralelo, Solução de Sistemas Lineares, Precondicionadores, Método dos Elementos Finitos (MEF), Cognição visual, mapeamento e localização de veículos autônomos.

1 Introdução

Os elementos integradores dos trabalhos de pesquisa a serem realizados nesse Projeto serão o estudo e o desenvolvimento de técnicas, algoritmos, metodologias, hardware e software para aplicações da computação paralela em mecânica dos fluidos, otimização combinatória e aprendizado de máquina. Aplicações práticas envolvem, dentre outras: problemas com múltiplas físicas acopladas (multi-físicas) em dinâmica dos fluidos; redução dos custos das operações necessárias nos métodos de solução de sistemas lineares não-estacionários de grandes dimensões; seleção de características em problemas de reconhecimento de padrões; cômputo do caminho ótimo em problemas de navegação de veículos autônomos.

Com o apoio a este Projeto, buscaremos principalmente fortalecer duas importantes linhas de investigação hoje sendo desenvolvidas pela equipe proponente: (i) estratégias de implementação do método dos elementos finitos utilizando processamento de alto desempenho; e (ii) modelos matemático-computacionais de cognição visual aplicados aos problemas de mapeamento e localização simultâneos e navegação de veículos autônomos. Buscaremos, também, avançar com nossas pesquisas em outros temas ligados a computação de alto desempenho, otimização e inteligência computacional.

Estratégias de Implementação do MEF utilizando Processamento de Alto Desempenho

O uso de métodos computacionais para simular fenômenos físicos possibilitou avanços significativos em tecnologias que afetam praticamente todos os aspectos da vida humana. Tal uso na dimensão observada atualmente é consequência da crescente oportunidade de se integrar e estender as capacidades de modelagem e simulação computacional em larga-escala com as tecnologias emergentes de tratamento, visualização e extração do conhecimento de grandes massas de dados, computação distribuída e em grade, e o desenvolvimento da infra-estrutura de redes de altas velocidades [ODE03, BEL04].

Porém, mesmo relevando os últimos avanços obtidos com as redes de interconexão de altíssima velocidade, memórias de baixa latência e poderosas arquiteturas multiprocessadas, com o aumento explosivo das massas de dados e a necessidade premente de modelos matemáticos e técnicas de solução para problemas multi-física, simulações e aplicações paralelas de grande porte – tão vitais para inúmeros ramos da indústria – ainda constituem um desafio para engenheiros e cientistas. Observa-se uma necessidade crescente de novas metodologias voltadas para simulações de problemas envolvendo múltiplas escalas espaciais e temporais e múltiplas físicas acopladas. Encontram-se desafios desta natureza em diversos problemas das ciências tendo em comum a necessidade de ferramentas de simulação adequadas, envolvendo os modelos matemáticos e sua discretização, técnicas de solução para problemas multi-física, simulação multi-escala, solucionadores rápidos e protótipos de sistemas computacionais para simulações em larga escala.

Com o apoio a este projeto, avançaremos em nossas investigações sobre novas formulações e técnicas de implementação do método dos elementos finitos, e novas estratégias de solução dos sistemas lineares resultantes não só de formulações de elementos finitos, mas também, de diferenças finitas ou volumes finitos. Além disso, serão investigadas estratégias para manipulação mais eficiente de matrizes esparsas

de grande porte utilizando modelos e técnicas de Computação Científica Combinatória [HEN07], área multidisciplinar que envolve teoria e métodos de Computação Científica e Otimização Combinatória.

Modelos Matemático-Computacionais de Cognição Visual Aplicados aos Problemas de Mapeamento e Localização Simultâneos e Navegação de Veículos Autônomos

As imagens projetadas dentro de nossos olhos mudam todo o tempo por conta do movimento dos olhos ou do nosso corpo como um todo. Contudo, em um aparente paradoxo, percebemos o mundo retratado nas imagens capturadas pelos olhos como estável. Além disso, as imagens projetadas nas retinas humanas são bidimensionais; entretanto, o cérebro é capaz de sintetizar uma representação tridimensional estável a partir delas, com informações sobre cor, forma e profundidade a respeito dos objetos no ambiente ao nosso redor, eliminando os efeitos dos movimentos dos olhos e do corpo.

O sistema visual biológico viabiliza a nossa movimentação (navegação) através do ambiente 3D de forma precisa. Assim, a modelagem das funcionalidades do sistema visual biológico pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas de localização e mapeamento simultâneos (Simultaneous Localization And Mapping – SLAM) de veículos autônomos.

SLAM é talvez o problema mais fundamental da robótica autônoma. Veículos robóticos autônomos necessitam saber onde estão em sua área de atuação para navegar nela e realizar atividades de interesse. Correntemente, as abordagens probabilísticas têm se mostrado as mais apropriadas para resolver os problemas de SLAM e navegação. Com o apoio a este Projeto, avançaremos em nossas investigações sobre modelos matemático-computacionais de cognição visual (compreensão do mundo e das idéias por meio da visão) aplicados aos problemas de mapeamento e localização simultâneos e navegação de veículos autônomos. Para isso, aprofundaremos nossos estudos sobre a biologia da cognição visual e nossas investigações sobre novos modelos matemático-computacionais de áreas do cérebro envolvidas com a cognição visual. Estes modelos, dada sua complexidade (número de neurônios, número de sinapses e outros parâmetros correlatos), demandam grande esforço computacional. Assim, com o apoio a este Projeto, será possível buscar soluções de computação de alto desempenho para o problema de SLAM baseadas em cognição visual. Inserido no contexto de SLAM está o estudo de algoritmos de Otimização aplicados a sistemas de navegação. Tais sistemas permitem que veículos tomem decisões automaticamente e determinem mudanças de comportamento para alcançarem algum objetivo estabelecido [GON10].

Outros Temas de Pesquisa Ligados a Computação de Alto Desempenho e sua Aplicação em Computação Científica e Inteligência Computacional

Além dos tópicos centrais de investigação discutidos acima, com este projeto buscaremos avançar com nossas pesquisas sobre programação de sistemas many-core. Atualmente, processadores multi-core tiram proveito do número de transistores disponível em um único CI para disponibilizar hardware próprio para a exploração do paralelismo de grão grosso existente nas aplicações. Contudo, a indústria de processadores caminha rapidamente para sistemas many-core [MAN07], com dezenas ou centenas de núcleos de processamento. Muito embora sistemas com múltiplos processadores estejam entre nós desde a década de 1960 e tenham sido muito estudados nas décadas de 1980 e 1990 [HEN06], mecanismos

eficientes de programação de sistemas many-core, que tirem proveito de paralelismo de grão grosso e de grão fino das aplicações, até recentemente ainda não existiam. Neste contexto surge a Compute Unified Device Architecture (CUDA), uma nova arquitetura paralela exposta ao programador por meio de uma pequena extensão da linguagem de programação C. CUDA foi desenvolvida dentro do escopo da indústria de processadores gráficos (Graphics Processing Unit – GPU). Diferente das unidades centrais de processamento (Central Processing Units – CPUs), que apresentaram uma melhoria de desempenho modesta nos últimos anos, o desempenho das GPUs cresceu enormemente. Neste projeto investigaremos o uso de C + CUDA na implementação paralela de aplicações de interesse nas áreas de Computação Científica e Inteligência Computacional.

2 Objetivos

O principal objetivo deste Projeto é o fortalecimento das áreas de Computação de Alto Desempenho, Otimização e Inteligência Computacional e o conseqüente fortalecimento do Programa de Pós-Graduação em Informática da UFES. Outros objetivos deste projeto são: o aumento do número de publicações em revistas científicas relevantes, o aumento do envolvimento dos alunos em publicações e participação em eventos científicos, e o aumento da produção de patentes e outros instrumentos de propriedade intelectual.

3 Metodologia

Essa seção descreve detalhes específicos das metodologias aplicadas para o desenvolvimento das pesquisas em Computação de Alto Desempenho, Otimização e Inteligência Computacional.

Estratégias de Implementação do MEF Utilizando Processamento de Alto Desempenho

Nós iremos desenvolver estratégias computacionais para o método de estabilização proposto por [ARR10]. Na forma padrão de solução do método, cada matriz da macroescala é composta por 4 graus de liberdade, três nós da macroescala e 1 nó da microescala, baricentro do elemento. Uma condensação estática trivial pode ser aplicada gerando uma matriz local de ordem 3, tendo como nós incógnitas somente os nós da macroescala. Os primeiros experimentos que já realizamos com essa idéia para problemas bidimensionais simples são promissores, pois, além de serem vantajosos em termos computacionais, apresentaram regularidades adicionais [WER10].

As estruturas de armazenamento locais, a citar, elemento por elemento e aresta por aresta, são constituídas de matrizes locais, que possuem dimensão igual a três vezes o número de graus de liberdade por nó para a implementação baseada nos elementos e duas vezes para a implementação baseada nas arestas. Denominamos bloco diagonal as submatrizes que definem as contribuições de cada nó nele mesmo. Na estrutura de armazenamento baseada nas arestas adotada nos trabalhos [CAT02, ELI05, CAT09], os blocos diagonais de cada matriz de aresta são acumulados nos blocos diagonais nodais e as contribuições dos blocos não diagonais na estrutura aresta. Esse procedimento possibilitou a definição do preconditionador bloco diagonal nodal já adotado nos trabalhos acima citados. Porém, esse preconditionador não possui uma taxa de convergência elevada para uma gama de aplicações. Nós pretendemos definir novos preconditionadores baseados nas arestas utilizando idéias similares a aquelas apresentadas por [BAZ07] para a estrutura elemento-por-elemento. A idéia principal da técnica que adotaremos está baseada na inversão dos blocos diagonais nodais e dos blocos não diagonais

armazenados por arestas. As matrizes locais envolvidas possuem inversão garantida pelas propriedades matemáticas da formulação de elementos finitos. A ação dos preconditionadores localiza-se no produto matriz-vetor que, neste caso, será executado em duas etapas: no nível dos nós, para os coeficientes dos blocos diagonais; e no nível das arestas para os coeficientes de fora do bloco diagonal. A eficiência esperada do preconditionador está no fato de que os blocos diagonais e os blocos não diagonais invertidos influenciarão na convergência do método iterativo baseado nos vetores de Krylov.

No que diz respeito ao reordenamento de matrizes esparsas, visando diminuir a largura de banda e envelope da matriz, pretendemos realizar estudos comparativos, além de propostas de melhorias dos algoritmos já implementados em [GHI10].

As técnicas de processamento paralelo que pretendemos estudar incluem implementações de códigos que visam estudar e comparar estruturas de dados utilizadas. O foco da pesquisa está na forma como implementaremos as principais operações dos algoritmos que iremos paralelizar, a saber, produto escalar e produto matriz-vetor. Considerando um domínio particionado em diversos processadores com seus dados armazenados nos respectivos processadores, a idéia principal está na classificação dos nós da malha como sendo nós interiores ou nós de interface. A partir dessa classificação, são definidas submatrizes em cada processador que organizam as contribuições de nós interiores e de interface. Assim, usando, por exemplo, o padrão MPI, é possível realizar as operações produto escalar e produto matriz-vetor concorrentemente nos diversos processadores [BAR09].

Modelos Matemático-Computacionais de Cognição Visual Aplicados aos Problemas de Mapeamento e Localização Simultâneos e Navegação de Veículos Autônomos

Para este item buscaremos atingir dois grandes objetivos de pesquisa: realizar a (i) Volta da UFES e a (ii) Ida a Guarapari (cidade turística do Espírito Santo). O campus principal da UFES (campus de Goiabeiras) possui um anel viário que o circunda que possui 3.570 metros. No contexto do objetivo Volta da UFES, buscaremos desenvolver pesquisas que viabilizem a transformação de um automóvel de passeio em um veículo autônomo capaz de realizar a volta da UFES autonomamente. No caminho da Volta da UFES as restrições impostas pelas leis de trânsito podem ser, em larga medida, desconsideradas, já que será possível realizar a Volta da UFES em um domingo ou feriado, situações em que o trânsito no anel viário é praticamente nulo. A distância da UFES à cidade de Guarapari, por outro lado, é igual a 58,5 Km. No contexto do objetivo Ida a Guarapari buscaremos desenvolver pesquisas que viabilizem o aperfeiçoamento de nosso veículo autônomo de modo a torná-lo capaz de realizar a Ida a Guarapari autonomamente. No caminho da Ida a Guarapari todas as leis de trânsito se aplicam e terão que ser “aprendidas” por nosso veículo autônomo.

4 Financiamento

O presente projeto é financiado pelo CNPq (552630/2011-0) Chamada Pública MCTI/CNPq/MEC/Capes - Ação Transversal nº06/2011 – Casadinho/Procad – “Casadinho” com vigência de ... de 2012 a ... de 2014 no valor total de R\$ 200.000,00.

5 Referências

- [ARR10] N. C. B. Arruda, R. C. Almeida, and E. G. D. do Carmo. Dynamic diffusion formulations for advection dominated transport problems. *Mecânica Computacional* Vol XXIX, págs. 2011-2025 Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit, Mario Storti (Eds.) .AMCA, Buenos Aires, Argentina, 15-18 Noviembre, 2010.
- [BAZ07] Y. Bazilevs, C. Michler, V.M. Calo, T.J.R. Hughes, Turbulence without tears: Residual-Based VMS, Weak Boundary Conditions, and Isogeometric Analysis of Wall-Bounded Flows, Technical Report, ICES, UT – Texas, 2007.
- [BAR09] Barbosa, A. C. ; Catabrga, L. ; De Souza, A. ;Valli, A. M. P. Análise do processamento paralelo em Clusters multicore na simulação de escoamento miscível implementado pelo método dos elementos finitos. In: X Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho, 2009, São Paulo. Anais do X Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho.
- [BEL04] Belytschko T, Hughes TJR, Fish J, Oden JT. Simulation Based Engineering Science: A Report on a Workshop Held Under the Auspices of the National Science Foundation. 2004.
- [CAT02] L. Catabriga and A.L.G.A.Coutinho, Improving Convergence to Steady-State of Implicit SUPG Solution of Euler Equations, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, Vol. 18, pp. 345--353, 2002a.
- [CAT09] Catabriga, Lucia ; de Souza, Denis A. F. ; Coutinho, Alvaro L. G. A. ; Tezduyar, Tayfun E. . Three-Dimensional Edge-Based SUPG Computation of Inviscid Compressible Flows With YZBeta Shock-Capturing. *Journal of Applied Mechanics*, v. 76, p. 021208, 2009
- [ELI05] ELIAS, Renato Nascimento ; MARTINS, M. A. D. ; COUTINHO, A. L. G. A., Alvaro L.G.A. Coutinho . Parallel Edge-Based Inexact Newton Solution of Steady Incompressible 3D Navier-Stokes Equations. *Lectures Notes on Computer Sciences*, v. Unico, n. 3648, p. 1237-1245, 2005.
- [GHI10] K. Ghidetti, L. Catabriga, M.C.S Boeres, M.C. Rangel, Study of the Influence of Sparse Matrices Reordering Algorithms on Krylov-Type Preconditioned Iterative Methods. In: IX Argentinian Congress on Computational Mechanis and XXXI Iberian-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2010, Argentina. *Mecânica Computacional*, 2010. v. XXIX. p.1-13.
- [GON10] L. M. Gonçalves. Sistema de Navegação de Veículo Inteligente. Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Itajubá, MG, 2010.
- [HEN06] J. L. Hennessy, D. A. Patterson, “Computer Architecture: A Quantitative Approach, Fourth Edition”, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 2006.
- [HEN07] Bruce Hendrickson and Alex Pothen, Combinatorial Scientific Computing: The Enabling Power of Discrete Algorithms in Computational Science, In *Lecture Notes in Computer Science* 4395:260-280, 2007.
- [MAN07] J. L. Manferdelli, “The Many-Core Inflection Point for Mass Market Computer Systems”, *CTWatch (Cyberinfrastructure Technology Watch) Quartely*, Vol. 3, No. 1, pp. 11-17, 2007.
- [ODE03] Oden, JT, Belytschko, T, Babuska, I, Hughes, TJR. Research directions in computational mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192: 913–922, 2003.
- [WER10] Werner, S.L. ; Catabriga, L. ; Santos, I. P. . Método de estabilização submalha difusão dinâmica aplicado na simulação de escoamento miscível. In: XXXI Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering., 2010, Buenos aires. *Mecânica Computacional*. Buenos Aires : AMCA, 2010. v. XXIX. p. 4039-4053.