

ANÁLISE NUMÉRICA DA INTERAÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Armando Miguel Awruch^{**}
Adriane Prisco Petry^{**}
Luis Alberto Segovia González[#]

* Departamento de Engenharia Mecânica/UFRGS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS
& Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/UFRGS

Resumo

Este trabalho apresenta resultados obtidos, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, empregando o supercomputador CRAY-YMP2E para a simulação numérica da interação fluido-estrutura. Descreve a vetorização de um programa de análise numérica da interação fluido-estrutura baseado no método de elementos finitos, assim como o pós-processamento efetuado empregando o programa MPGS.

Abstract

Results obtained at Civil Engineering Graduate Program of Federal University of Rio Grande do Sul, using the supercomputer CRAY-YMP2E for fluid-structure interaction numerical simulation, are presented in this work. The vetorization of a system to simulate fluid-structure interaction via finite element method with an explicit integration scheme is described. Also the pos-processing using MPGS system is presented.

1. INTRODUÇÃO

A análise numérica de escoamentos tem, tradicionalmente, um custo computacional elevado. No estudo da interação fluido-estrutura, esta dificuldade se amplia, tornando-se essencial buscar soluções para reduzir o tempo de procesamento e memória central requerida. Com o desenvolvimento de plataformas computacionais de alto desempenho ampliaram-se as possibilidades de análise destes problemas, denominados problemas computacionais de grande porte. A evolução dos equipamentos também tem incentivado o emprego de modelos mais detalhados e realistas.

2. VETORIZAÇÃO DE UM PROGRAMA DE ANÁLISE NUMÉRICA DA INTERAÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA

O programa vetorizado emprega o método de elementos finitos para análise da interação fluido-estrutura. As equações de conservação de massa e de quantidade de movimento de um fluido viscoso e quase incompressível são integradas através de um esquema explícito de dois passos, com diagonalização seletiva. A solução conduz aos valores das velocidades e pressões no campo de um escoamento bidimensional

e transiente. A análise da estrutura é feita através da equação de equilíbrio dinâmico, empregando-se matrizes da estrutura modificadas que contem a influência do escoamento. Estas matrizes são obtidas aplicando as condições de equilíbrio de forças e compatibilidade de deslocamentos na interface fluido-estrutura. As taxas de deslocamento da superfície comum calculadas, servem como condições de contorno para a análise do escoamento no passo seguinte. O método, bem como as equações que descrevem o fenômeno físico estão apresentadas na dissertação de mestrado apresentada por PETRY em 1993, [1].

A primeira versão do programa foi desenvolvida visando o uso de estações de trabalho SUN. Este algoritmo está estruturado com um laço externo sobre o número de elementos, enquanto os laços internos ocorrem sobre o número de nós dos elementos (NPE), ou seja, laços de 1 a 4. Esta característica restringiu os ganhos com a vetorização do programa e com o emprego da plataforma vetorial CRAY-YMP.

Problemas grandes, como o escoamento em torno de um cilindro oscilante com simulação da esteira de vórtices, se tornaram inviáveis de processar nas estações de trabalho. Ao transferir o programa para o CRAY, sem nenhuma alteração, reduziu-se o tempo de processamento em aproximadamente 24 vezes. Apesar da redução do tempo este ainda se mostrou elevado e a performance do programa era pobre diante das possibilidades do equipamento.

Pela característica transiente do problema, a maior parte do processamento ocorre dentro do laço de avanço no tempo, onde foi concentrado o esforço de otimização do programa. As rotinas envolvidas na inicialização do problema, de leitura e gravação de dados ou que calculam matrizes invariantes com o tempo, não foram modificadas pois o seu processamento representa um percentual muito pequeno do tempo total consumido.

A principal modificação foi a reestruturação dos dados do programa, permitindo desenvolver um algoritmo que opera com o laço mais interno ocorrendo sobre uma grande dimensão, o número total de elementos. Foram criadas matrizes de armazenamento compostas pelas matrizes dos elementos agrupadas de tal forma que cada quatro linhas contém a matriz de um elemento completa.

O emprego de um método explícito permite uma variação deste algoritmo, onde o laço sobre o número total de elementos pode ser substituído por laços sobre grupos de elementos. Esta subdivisão é uma solução para enfrentar problemas tridimensionais, onde o volume de dados é excessivo para que se trabalhe com as matrizes de todos os elementos na memória, simultaneamente.

Foram processados problemas analisados pela primeira versão, com resultados comprovados, descritos na referência [1]. A nova versão conduziu aos mesmos resultados de maneira muito mais econômica em termos computacionais, com uma performance média de processamento de até 107 MFLOPS contra 6,4 MFLOPS da versão inicial.

Um exemplo de análise, consiste no escoamento em torno de um cilindro fixo com número de Reynolds 100, com 2336 elementos. Um resumo dos resultados da análise de performance referentes a este, é apresentado a seguir.

Versão escalar

Numero de passos de integração = 752

Velocidade média = 6,4 MFLOPS

Tempo total de processamento = 663 s

Tempo de processamento/intervalo de integração = 0,8816 s

Versão vetorial

Número de passos de integração = 1000

Velocidade média = 104,3 MFLOPS

Tempo total de processamento = 30,9s

Tempo de processamento/intervalo de integração = 0,0309s

Neste caso a velocidade média de processamento cresceu 16,23 vezes, enquanto o tempo de processamento por intervalo de integração reduziu-se em 28,53 vezes.

Da análise de performance, verifica-se que o algoritmo de montagem de vetores globais, subrotina ASSEM, que não foi alterado, é o próximo ponto de trabalho para otimização do sistema. Esta subrotina apresenta uma baixa performance (9,8 MFLOPS) com elevado consumo do tempo total de processamento (19%) na versão vetorial.

Os resultados obtidos ampliam as possibilidades de desenvolvimento nesta linha de pesquisa, destacando-se o estudo de problemas tridimensionais, a implementação de um modelo de turbulência e a simulação do escoamento em turbomáquinas.

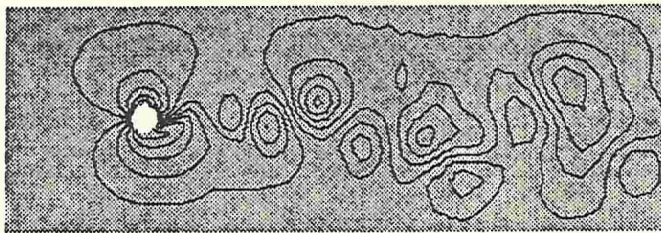
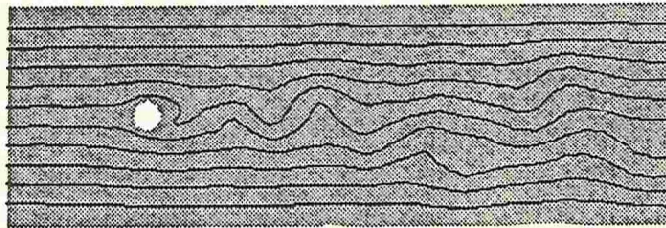
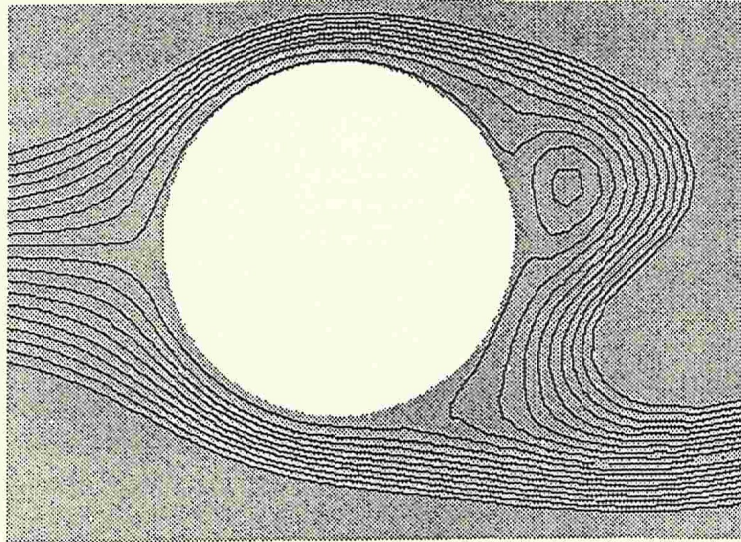
2. PÓS-PROCESSAMENTO DE RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE INTERAÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA

Outro programa desenvolvido dentro da mesma linha de pesquisa é o programa FLUSTI, descrito na dissertação de mestrado apresentada por GONZÁLEZ [2]. Na sua implementação, utiliza-se também o método dos elementos finitos e considera-se o acoplamento do fluido com a estrutura imersa. Para a análise do escoamento é utilizado um método explícito de dois passos de Taylor-Galerkin e para a análise da estrutura é utilizado o método de Newmark. O fluido e a estrutura são acoplados através da imposição de condições de compatibilidade de deslocamentos e de equilíbrio de forças, e da consideração da contribuição do fluido na massa e no amortecimento da estrutura.

Na referência citada anteriormente (GONZÁLEZ [2]), além de outros exemplos, são apresentados os resultados obtidos na aplicação do programa implementado à análise do escoamento em torno de um cilindro. Para a representação gráfica e interpretação destes resultados foi utilizado o programa MFGS (Multi Purpose Graphics System), colocado a disposição dos usuários do Centro de Supercomputação da UFRGS, que permite trabalhar com malhas com número elevado de elementos finitos e torna possível uma representação gráfica detalhada e de alta qualidade, em estações de trabalho desenvolvidas

especificamente para utilização em computação gráfica. Este programa, entre outras potencialidades, possui recursos de animação de resultados transientes, o que permite a visualização em tempo real dos fenômenos físicos envolvidos no estudo realizado.

Figura 1: As figuras seguintes apresentam resultados de um problema estudado (escoamento em torno de um cilindro imerso), a representação gráfica das linhas de corrente (comuns e relativas) do escoamento em um dado instante de tempo, obtidas com o programa mencionado (MPGS) a partir dos resultados da análise numérica.



REFERÊNCIAS

- [1] PETRY, A.P. - "Análise Numérica da Interação Fluido-Estrutura através do Método dos Elementos Finitos". Dissertação de Mestrado, CPGE, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 1993.
- [2] GONZÁLEZ, L. A. Segovia - "Análise de Escoamentos de Fluidos Quase-Incompressíveis e das Vibrações Induzidas em Objetos Imersos". Dissertação de Mestrado, CPGE, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1993.