Uso de Diferentes Modelos de Paralelização para Solução de um Problema Inverso em Vibrações através da Metaheurística Algoritmos Genéticos

Raquel Nailê Brinkhus, Leonardo Dagnino Chiwiacowsky

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPCA), Av. Unisinos, 950 - CEP 93.022-000 São Leopoldo/RS - Brasil

quelchi@gmail.com, ldchiwiacowsky@unisinos.br

1. Introdução

O emprego de técnicas de identificação de sistemas tem sido muito estudado devido a sua vasta utilização nos campos da engenharia. Em engenharia estrutural, a identificação de sistemas é geralmente conhecida como problema inverso de dinâmica estrutural [Chiwiacowsky 2005].

No projeto de obras de engenharia uma das principais preocupações é a determinação do amortecimento. Neste trabalho deseja-se estimar o valor dos coeficientes de amortecimento de uma estrutura vibratória simples, representada por um sistema massa-mola amortecido com *N* graus-de-liberdade (GDL). Este problema pode ser formulado através de uma forma funcional bem posta, baseada em dados de deslocamento da estrutura, cuja solução pode ser obtida através do emprego da metaheurística Algoritmo Genético (AG) [Chiwiacowsky 2005].

O AG apresenta um grande potencial e facilidade em ser empregado de forma paralela em ambientes distribuídos. Este trabalho apresenta um estudo sobre diferentes modelos de paralelização do AG quando aplicados na solução de um problema inverso em vibrações, a saber: AG Global, AG *Stepping Stones* e AG Ilha [Cantú-Paz 1995]. O uso de diferentes modelos de paralelização tem como objetivo, além da redução do tempo de processamento, também a obtenção de soluções de melhor qualidade. A implementação paralela foi realizada através da linguagem C, utilizando-se a biblioteca de troca de mensagens MPI [MacDonald et al. 2000] em ambiente MPI/LAM [LAM Team, 1998].

2. Problema Direto

O problema direto é aquele no qual são conhecidas as grandezas de entrada, tais como força externa, condições iniciais e parâmetros estruturais (massa $\mathbf{M}$, amortecimento $\mathbf{C}$ e rigidez $\mathbf{K}$), e busca-se a resposta do sistema, representada pelo deslocamento ($\mathbf{x}(t)$), freqüência e/ou modos de vibração. Através da modelagem matemática baseada na segunda lei de Newton, a equação da dinâmica vibratória de um sistema com *N*-GDL, apresenta-se da seguinte forma [Kreyszig 1962]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{f}(t)\,. \tag{1}$$

Neste trabalho, a solução do problema direto foi obtida através da utilização do método de Runge-Kutta de 4ª ordem [Kreyszig 1962].

3. Problema Inverso

Para solução do problema inverso assume-se conhecida a resposta do sistema vibratório, aqui representada pelo deslocamento, e deseja-se estimar os coeficientes de amortecimento. Com este objetivo, foi utilizada a metaheurística Algoritmo Genético [Goldberg 1989].

3.1 O Algoritmo Genético

Uma vez que os problemas inversos são classificados como problemas mal-postos, isto é, pequenas variações nos valores de entrada podem causar grandes mudanças nos valores de saída, a solução foi buscada através da minimização de uma forma funcional bem posta:

$$FO = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{Nt} \left[\mathbf{x}_j^{MOD}(t_i) - \mathbf{x}_j^{EXP}(t_i) \right]^2 ; \qquad (2)$$

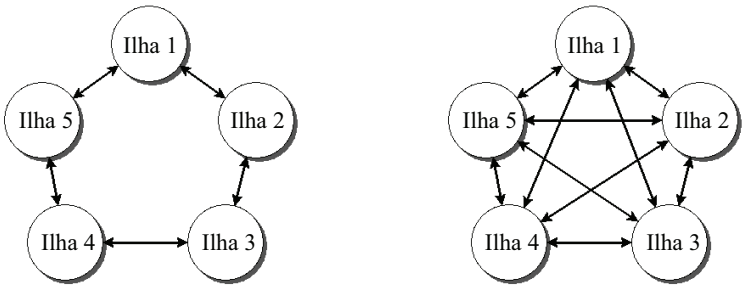
onde $\mathbf{x}^{EXP}$ representa o deslocamento obtido experimentalmente e $\mathbf{x}^{MOD}$ representa o deslocamento fornecido pelo modelo matemático descrito na Equação (1).

O AG inicialmente cria e avalia uma população aleatória de soluções, em seguida entra em um processo evolutivo, selecionando pais (seleção torneio), cruzando-os (cruzamento aritmético), realizando ou não mutação nos filhos gerados (mutação não-uniforme), avaliando-os e substituindo os antigos indivíduos da população. Esse processo continua até que uma condição de parada seja satisfeita (número máximo de gerações). Juntamente com os operadores genéticos são definidos também alguns outros parâmetros: tamanho da população, pressão seletiva, probabilidade de cruzamento, probabilidade de mutação e tamanho da população elite.

3.2 Modelos de Paralelização

O método do AG exige um grande esforço computacional e, além disso, deseja-se analisar estruturas com um grande número de GDL, mais próximas da realidade, consequentemente com uma exigência computacional ainda maior. Assim, foram avaliadas diferentes estratégias de paralelização: (*i*) o modelo AG Global, ou mestre-escravo, onde uma única população é utilizada, porém o cálculo da função aptidão tem sua execução distribuída entre os processadores, utilizando-se para isso os comandos *Send(.)* e *Recv(.)* da biblioteca MPI; e (*ii*) modelos baseados em múltiplas populações – modelos Ilha e *Stepping Stones* – onde a população total é dividida igualmente entre os processadores de forma que cada sub-população (ilha) evolua isoladamente, havendo transferência dos melhores indivíduos de cada sub-população após um número fixo de gerações (migração). A comunicação entre os processadores é realizada através do comando *Allgather(.)* da biblioteca MPI, fazendo com que todos os processos coletem os melhores indivíduos de cada processo em execução. A Figura 1 mostra os diferentes paradigmas de migração utilizados neste trabalho.

O uso de múltiplas populações de forma simultânea permite uma busca ampla no espaço de soluções, permitindo a obtenção de estimativas de melhor qualidade, bem como a manutenção da diversidade das sub-populações, alcançada através da chegada de novos indivíduos de populações vizinhas, que introduzirão nova informação genética, conduzindo a busca de soluções a regiões mais promissoras. Além disso, comumente a migração ocorre poucas vezes, fazendo com que a parcela de comunicação no tempo total de execução da aplicação seja reduzida, proporcionando *speedups* elevados.



(a) Modelo *Stepping Stones* (b) Modelo Ilha

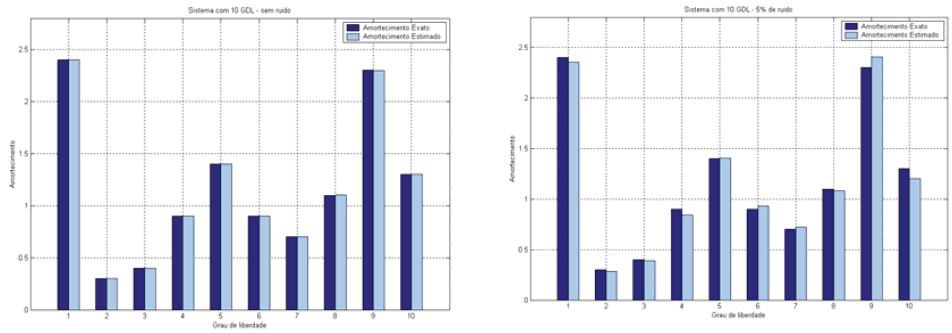
Figura 1. Modelos de Paralelização.

4. Resultados Numéricos

A fim de simular os erros inerentes ao processo de medição (má transmissão de sinal captado pelos aparelhos de medida, fios mal conectados, precisão limitada do aparato experimental), foram utilizados dados experimentais de deslocamento contaminados ou não por ruídos, sendo simulados computacionalmente da seguinte forma:

$$\mathbf{x}^{EXP} = \mathbf{x}^{MOD}\left[1 + \sigma\, N\right]; \tag{3}$$

onde σ equivale ao desvio padrão dos erros de medida e N indica valores aleatórios com distribuição Normal (Gaussiana). A Figura 2 mostra a comparação entre os coeficientes de amortecimento estimado e exato para um sistema com 10-GDL, utilizando-se dados experimentais contaminados por diferentes níveis de ruído.



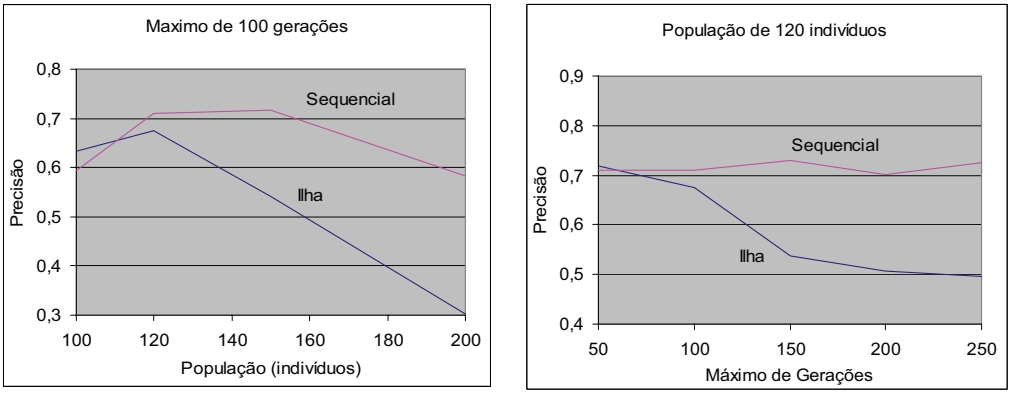
(a) $\sigma = 0$, Erro = $0{,}034\times10^{-3}$ (b) $\sigma = 5\%$, Erro = $9{,}11\times10^{-3}$

Figura 2. Amortecimento estimado e exato para diferentes níveis de ruído.

Como esperado, a qualidade das estimativas diminui conforme aumenta a intensidade do ruído presente nos dados experimentais, uma vez que o método emprega, justamente, o valor do dado experimental para obtenção da solução, conforme a Equação (2).

Com relação ao desempenho dos diferentes modelos de paralelização, observou-se um *speedup* próximo ao linear, com uma eficiência acima de 95%, para os modelos de sub-populações avaliados, quando utilizados até 4 processadores. Para quantidades maiores de processadores a eficiência diminuiu, porém manteve-se acima de 85%. Foram também realizados testes para avaliar a influência da abordagem distribuída na qualidade da solução do problema inverso. Observou-se que a partir de valores específicos para o tamanho da

população e/ou número máximo de gerações, independentemente do número de processadores utilizados na versão paralela, o AG Ilha apresentou uma capacidade maior de fornecer melhores estimativas dos coeficientes de amortecimento se comparado com a sua versão seqüencial (Figura 3), evidenciando que o AG Ilha é um algoritmo diferente do AG seqüencial.



(a) Número máximo de gerações fixo (b) Tamanho da população fixo

Figura 3. Comparação da precisão entre o AG Ilha e o AG seqüencial.

5. Conclusões

É apresentada uma proposta de solução para o problema inverso de estimativa dos coeficientes de amortecimento de um sistema mass-mola-amortecedor com *N*-GDL, baseada no uso da metaheurística algoritmo genético, utilizando-se diferentes modelos de paralelização. Observou-se que, mesmo assumindo dados experimentais contaminados por ruídos de medida, o problema inverso foi resolvido de forma satisfatória. Além disso, observou-se que o uso de modelos distribuídos do AG, além de reduzirem o tempo computacional necessário para a obtenção de uma boa solução, também forneceu soluções de melhor qualidade se comparado ao modelo seqüencial.

6. Referências Bibliográficas

Cantú-Paz, E.(1995) "*A sumary of research on parallel genetic algorithms*." Technical Report 95007, IlliGAl, Universidade de Illinois, Urbana-Champaign.

Chiwiacowsky, L.D. (2005) "*Método Variacional e Algoritmo Genético em Identificação de Danos Estruturais*". INPE, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Goldberg, D.E. (1989) "*Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*", Addison-Wesley Publishing Company, New York.

Kreyszig, E. (1962) "*Advanced Engineering Mathematics*", John Wiley & Sons, New York.

The LAM Team. *Getting Started with LAM/MPI*. University of Notre Dame, Department of Computer Science, http://www.lam-mpi.org/, 1998.

MacDonald, N.; Minty, E.; Malard, J.; Harding T.; Brown S. e Antonioletti, M. (2000) "*Writing Message Passing Parallel Programs with MPI*", Universidade de Edinburgo, Escócia.