

Estudo da separação de frequências naturais em sistemas estruturais sujeitos a vibrações livres com o uso de otimização topológica evolucionária

Autor: Gustavo Comerlato Rodrigues
Orientador: Walter Jesus Paucar Casas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Objetivos

Desenvolvimento e aplicação de um algoritmo de otimização estrutural evolucionária multiobjetivo a fim de evitar a ressonância em sistemas mecânicos, minimizando a massa e maximizando a separação entre frequências naturais, para frequências predefinidas de excitação.

Otimização Topológica Evolucionária

O método BESO [1] propõe a retirada ou adição gradual de material a uma estrutura de acordo com um critério de sensibilidade elementar, o que é realizado iterativamente até a estrutura convergir para um valor máximo ou mínimo de uma dada função objetivo.

Para obter as frequências naturais de uma estrutura, discretizada em elementos finitos, resolve-se o problema de autovalores e autovetores:

$$(K - \omega_k^2 M)u_k = 0$$

A função objetivo da separação ponderada de autofrequências [2] é modificada para realizar a separação concomitante de diferentes frequências naturais e frequências de entrada através de uma escalarização para diferentes frequências de entrada, através do problema de otimização :

$$\text{Maximizar: } A \left(\left[\sum_{j=n}^{n_{freq}} \frac{1}{(\omega_{n_j}^2 - \omega_{0_{inf}}^2)} \right]^{-1} + \left[\sum_{j=1}^{n-1} \frac{1}{(\omega_{0_{inf}}^2 - \omega_{n_j}^2)} \right]^{-1} \right) + B \left(\left[\sum_{j=n}^{n_{freq}} \frac{1}{(\omega_{n_j}^2 - \omega_{0_{sup}}^2)} \right]^{-1} + \left[\sum_{j=1}^{n-1} \frac{1}{(\omega_{0_{sup}}^2 - \omega_{n_j}^2)} \right]^{-1} \right)$$

$$\text{Tal que: } \frac{u_k^T K u_k}{u_k^T M u_k} = \omega_k^2$$

$$V_f - \sum_{i=1}^{N_{elems}} x_i V_i = 0$$

$$x_i = 1 \text{ ou } x_{min}$$

$$A + B = 1$$

Algoritmo e metodologia

O algoritmo original do método BESO teve de ser alterado. Ao invés da função objetivo separar duas autofrequências predefinidas, estas são atualizadas em cada iteração à medida que a estrutura evolui. A função objetivo busca maximizar a separação entre as frequências naturais imediatamente superiores e inferiores às frequências de entrada em qualquer iteração.

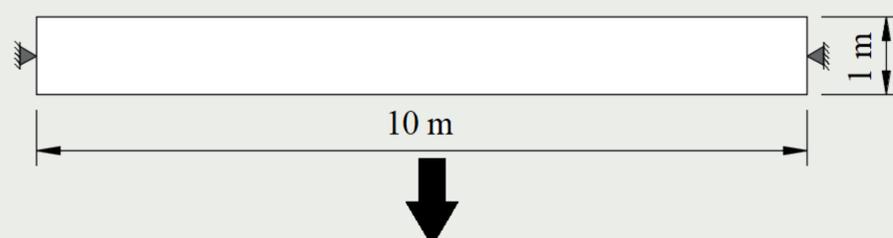
Devido à função objetiva escolhida, os valores das separações podem variar consideravelmente, então para resultado final, ao invés de ser selecionada a última iteração do algoritmo, foi selecionada a iteração com a maior soma ponderada de separações, de acordo com a equação:

$$S = A(\omega_{sup}^{sup} - \omega_{sup}^{inf}) + B(\omega_{inf}^{sup} - \omega_{inf}^{inf})$$

Visando maior estabilidade, o algoritmo original também foi alterado para que quando houvesse perda de conectividade entre pontos importantes (como entre pontos de apoio e massas acopladas) o algoritmo selecione a melhor iteração obtida até então e o processo seja finalizado. Caso isto ocorra antes do volume final ser atingido, o algoritmo seleciona a última iteração sem perda de conectividade.

Resultados

Para verificação do algoritmo desenvolvido, ele foi testado em três diferentes estruturas clássicas em engenharia: vigas biengastadas, simplesmente apoiadas e *cantilever*. Foram variados os pesos A e B, de modo a verificar sua influência no resultado final, e plotadas as curvas de resultados correspondentes.



Topologia com a melhor separação total obtida durante a otimização
Iteração Número 13 com intervalos entre frequências associados:
Primeiro: 55.97 Hz, Segundo: 162.50 Hz, Soma ponderada: 108.17 Hz



Configuração da viga biengastada antes e depois da otimização

Os resultados mostraram que a escolha de função objetivo mostrou-se incompleta, uma vez que mesmo com as precauções extras para a estabilização de cada iteração, as separações finais obtidas muitas vezes eram inferiores às originais e com separações às vezes contraditórias às proporções dos pesos. Apesar disso, foi possível obter alguns resultados com separações otimizadas como esperado e em todos os casos houve uma diminuição no volume da estrutura.

Referências

- [1] Huang, X. e Xie, Y. M. Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications. John Wiley & Sons Ltd. (2010a).
- [2] Lopes, H. N., Pavanello, R. e Mahfoud, J. Topology Optimization for the Maximization of Frequency Separation Margin. VI International Symposium on Solid Mechanics – MecSol 2017.