

Seleção de topologias ótimas de estruturas elásticas 2D com restrição de tensão – via Smooth Evolutionary Structural Optimization



V.S. Almeida^{a,*}, H.L. Simonetti^b e F. de Assis das Neves^b

^a Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

^b Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Bauxita, Ouro Preto - MG, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 29 de junho de 2010

Aceite a 31 de maio de 2012

On-line a 13 de abril de 2014

Palavras-chave:

Otimização evolucionária topológica

Otimização evolucionária estrutural

Método SESO

Elemento finito triangular

R E S U M O

O artigo aborda a otimização topológica em problemas de elasticidade plana linear considerando a minimização do volume com restrição de tensão e empregando um índice de desempenho como monitoramento para o encontro da região de ótimo. Utiliza-se para este fim o método clássico da otimização evolucionária estrutural, ou Evolutionary Structural Optimization (ESO). Este procedimento de otimização baseia-se na retirada sistemática e gradativa dos elementos com menores tensões em comparação com a tensão máxima da estrutura. Procedimento este também conhecido como um processo «hard-kill». Propõe-se neste trabalho uma variante do método ESO, denominado de Smoothing ESO (SESO), cuja filosofia baseou-se na observação de que se o elemento não for realmente necessário à estrutura, naturalmente sua contribuição de rigidez vai diminuindo progressivamente, até que ele não tenha mais influência. Isto é, sua remoção é feita de forma suave, atenuando os valores da matriz constitutiva do elemento, como se este estivesse em processo de danificação. Define-se também o índice de desempenho para o monitoramento deste processo evolucionário suavizado. As aplicações do ESO e do SESO são feitas com o método dos elementos finitos, mas considerando um elemento finito triangular e de alta ordem. Por fim, implementou-se um filtro espacial em termos de controle de tensão, o qual associado à técnica SESO se mostrou ser bastante estável e eficiente na eliminação da formação do tabuleiro.

© 2010 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

Optimal topology selection for 2D structures with stress constraints via Smooth Evolutionary Structural Optimization

A B S T R A C T

This paper approaches the topology optimization problems in plane linear elasticity considering the minimization of the volume with restriction of the stress employing an index of performance for monitoring the meeting of the optimum region. It is used for this purpose the classical evolutionary structural optimization, or ESO - evolutionary structural optimization. This procedure is based on systematic and gradual removal of the elements with lower stress compared with the maximum stress of the structure. This procedure also known as a process “hard-kill”. It is proposed a variant of the ESO method, called SESO - Smoothing ESO, which is based on the philosophy that if an element is not really necessary for the structure, its contribution to the structural stiffness will gradually diminish until it has no longer influence in the structure, so its removal is performed smoothly. That is, their removal is done smoothly, reducing the values of the constitutive matrix of the element as if it were in the process of damage. A new performance index for the monitoring of this evolutionary process smoothed is proposed herein. The applications of ESO and SESO are made with the finite element method, but considering a high order triangular element based on the free formulation. Finally, it is implemented a spatial filter in terms of stress control, which was associated with SESO technique proved to be very stable and efficient in eliminating the formation of the checkerboard.

© 2010 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords:

Topological optimization

Evolutionary Structural Optimization

SESO Technique

Triangular Finite Element

* Autor para correspondência.

Correios eletrônicos: valerio.almeida@usp.br (V.S. Almeida), heliosimonetti@ig.com.br (H.L. Simonetti), fassis@em.ufop.br (F. de Assis das Neves).

1. Introdução

A otimização topológica (OT) é um campo de pesquisa da engenharia que tem o objetivo de projetar a topologia ótima de estruturas segundo determinado conjunto de critérios de projeto, podendo ser a procura do menor peso da estrutura, ou a restrição a um dado valor limite de tensão, deslocamento ou de frequência do projeto.

A OT é um tema recente no campo da otimização estrutural. Entretanto, os conceitos básicos que dão suporte teórico ao método foram estabelecidos há mais de um século, conforme descreve Rozvany et al. [1]. A grande vantagem da OT em comparação com os métodos tradicionais de otimização, como a otimização de forma ou a otimização paramétrica, é que esses métodos não são capazes de alterar o leiaute da estrutura original, sendo assim não auxiliam o projeto conceitual da estrutura. Desta forma, a aplicação da OT tem-se mostrado um caminho profícuo de pesquisas ligadas a projetos de interesse de indústrias, uma vez que facilita a moldagem de materiais sob certas condições de projeto.

Os métodos de OT buscam a solução ótima através da variação do domínio, isto é, topologia da estrutura e no que diz respeito a estruturas contínuas, são divididos em 2 grandes classes de abordagens, conforme Eschenauer e Olhoff [2]: a abordagem micro, ou baseada no material, e abordagem macro, ou baseada na geometria.

A abordagem micro trata da existência de uma micro estrutura porosa, que define as relações constitutivas do material em função da sua geometria e da densidade volumétrica de uma célula unitária representativa do material, que por sua vez é representada por variáveis contínuas, sucessivamente distribuídas, no espaço do domínio fixo estendido, que consiste numa região do espaço onde pode existir a estrutura, Stump [3]. Um exemplo para este grupo é o método Simple Isotropic Material with Penalization (SIMP), Bendsøe [4] e Rozvany et al. [5].

Na abordagem macro, a topologia da estrutura é modificada mediante a inserção de furos no domínio. Como exemplo deste grupo de OT pode-se citar o Evolutionary Structural Optimization (ESO) que é baseado no cálculo da função objetivo quando um elemento é removido da malha de elementos finitos; o Topological Sensitivity Analysis (TSA), baseado em uma função escalar, denominada derivada topológica, que fornece para cada ponto do domínio de definição do problema a sensibilidade da função custo quando um pequeno furo é criado, Labanowski et al. [6].

Além destes métodos, tem-se aplicado na resolução de problemas de OT as técnicas estocásticas, com destaque para o uso do algoritmo genético, Kane et al. [7], Kawamura et al. [8], Krishnamoorthy et al. [9], Lagaros et al. [10] e a técnica do simulated annealing, Kirkpatrick et al. [11]. Entretanto, a principal desvantagem destas técnicas aplicadas na OT é a busca da região ótima quando está associado à otimização de centenas ou até milhares de parâmetros, o que aumenta exponencialmente o tempo de processamento, muitas vezes inviabilizando sua aplicação.

Em seu método clássico, o ESO modifica a topologia de uma estrutura mediante a heurística de remoção gradual de elementos finitos da malha. Após esta remoção a estrutura evolui em direção a um ótimo ideal. O ESO tem-se destacado por ser um método de formulação simples de fácil entendimento.

Neste contexto, este artigo apresenta uma variante do método ESO, denominado de Smoothing ESO (SESO), por se tratar de uma técnica de suavização aplicada na forma de retirada dos elementos ineficientes da malha, uma vez que no ESO, ao retirar um grupo de elementos da malha pode-se eliminar elementos que estão no limite entre serem retirados ou não, podendo comprometer o processo evolutivo. Assim, para contornar este problema, foi proposta uma maneira mais suave de utilizar deste conceito, na qual além de remover os elementos finitos de regiões com baixa tensão, são devolvidos à estrutura uma porcentagem

desses elementos que numericamente estão próximos da restrição de tensão. Destarte, empregam-se elementos finitos triangulares de alta ordem, obtendo respostas de tensões com melhor precisão, além de permitir a geração de malhas não estruturadas e assim facilitando geometrias mais complexas. São apresentados alguns exemplos clássicos obtidos na literatura, que demonstram que o procedimento desenvolvido é robusto e genérico.

2. Otimização estrutural evolucionária

Dentre os métodos de OT que consideram malhas variáveis durante o processo estão os métodos de otimização estrutural evolucionária, conhecidos na literatura como ESO. A principal ideia destes métodos consiste na proposição de um critério eficiente, capaz de estimar a contribuição de cada elemento na resposta do sistema. Xie e Steven [12] desenvolveram uma maneira bem simples de impor modificações na topologia da estrutura, feita mediante heurística de remoção gradual e sistemática de elementos finitos da malha, correspondentes a regiões que não contribuem efetivamente para um bom desempenho desta.

Define-se inicialmente uma malha de elementos finitos que circunscreva todo o domínio de projeto, também chamado de domínio estendido, de forma a incluir as condições de contorno em forças e deslocamentos, cavidades e demais condições iniciais. Em um processo iterativo avaliam-se os parâmetros de interesse de otimização, neste artigo em especial é a minimização do volume mediante um critério de tensão máxima da estrutura. Assim, avaliam-se as tensões de cada elemento, conforme o uso da inequação:

$$\sigma_e^{vm} < RR \cdot \sigma_{max}^{vm} \quad (1a)$$

$$RR_{i+1} = RR_i + ER \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1b)$$

com σ_e^{vm} e σ_{max}^{vm} sendo, respectivamente, a tensão principal de Von Mises do elemento «e» e a máxima da estrutura na respectiva iteração, RR é um fator denominado de razão de rejeição e ER é uma razão evolucionária, isto é, um valor percentual constante que é adicionado a RR assim que o estado de equilíbrio é alcançado. Este parâmetro é definido na literatura como uma porcentagem que varia entre 0,1 a 2% devendo ser calibrada por meio dos experimentos numéricos, e controla o processo de evolução do algoritmo.

Em cada iteração, os elementos que satisfaçam a inequação (1a) são retirados do domínio, figura 1. O fator RR é aplicado para controlar o processo da remoção do domínio ($0,0 \leq RR \leq 1,0$). O mesmo ciclo de remoção dos elementos usados pela desigualdade (1a) é repetido até que não haja mais elementos que satisfaçam mais esta inequação (1a). Quando esta situação ocorre, um estado de equilíbrio é alcançado. O processo evolucionário é definido adicionando a RR uma razão evolucionária (ER), conforme equação (1b). Assim, um novo ciclo de evolução inicia-se, até que não existam mais elementos a serem eliminados e se obtenha uma configuração ótima, indicada pelo controle de um parâmetro de desempenho, denominado de índice de desempenho (ID). Este procedimento também

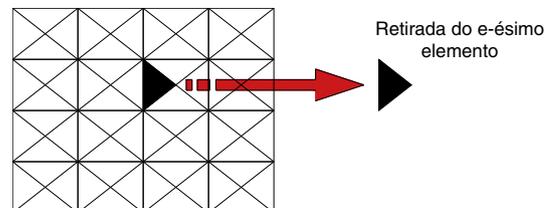


Figura 1. Ilustração da retirada de elemento da malha durante o processo evolucionário.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702557>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702557>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)