

Obtenção de condições de contorno por uma análise inversa utilizando algoritmo genético em conjunto com o método dos elementos de contorno

Cibele Cornejo Jacinto Portela
PPGMNE
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Brasil

Amanda Jarek
Institutos LACTEC
Departamento de Engenharia Civil
Curitiba, Brasil

Luiz Alkimin de Lacerda
PPGMNE
Universidade Federal do Paraná
Institutos LACTEC
Departamento de Engenharia Civil
Curitiba, Brasil

Resumo—Este trabalho visa a obtenção das condições de contorno por meio de uma análise inversa utilizando a técnica de otimização por Algoritmo Genético (AG) e o Método dos Elementos de Contorno (MEC). Um exemplo de aplicação é elaborado para a obtenção de três cargas solicitantes. A verificação dos resultados é feita por uma comparação com os resultados obtidos pelo modelo direto.

Palavras-chave—Análise Inversa; Método dos Elementos de Contorno; Algoritmos Genéticos;

I. INTRODUÇÃO

Em muitas aplicações da engenharia, tem-se a necessidade de indentificação de parâmetros físicos a partir de dados medidos experimentalmente. No presente trabalho foi elaborado um algoritmo computacional para tratamento de alguns problemas inversos em estruturas, utilizando formulações da elasticidade linear [1], por meio do acoplamento de um Algoritmo Genético (AG) ao Método dos Elementos de Contorno (MEC)[2]. Essa ferramenta permite a determinação de ações e reações mecânicas, por meio de medidas de deformação em campo, contribuindo para a tomada de decisões importantes sobre o futuro da estrutura analisada.

Encontram-se muitos trabalhos na literatura técnica que foram bem sucedidos na solução de problemas de otimização com o uso desses dois métodos. Uma referência interessante é o trabalho de [3] para otimização de forma de estruturas contínuas.

II. MODELAGEM COMPUTACIONAL

A. Método dos Elementos de Contorno para problemas de Elasticidade

A maioria dos fenômenos físicos ocorridos na natureza podem ser descritos por equações diferenciais. No MEC assumem-se funções que satisfazem as equações diferenciais, chamadas de soluções fundamentais, e o erro é minimizado nas condições de contorno.

A integral de Somigliana apresenta o valor de deslocamento em um ponto interno em termos dos valores de contorno u_k e p_k . [4]

$$u_l^i + \int_{\Gamma} p_{lk}^* u_k d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{lk}^* p_k d\Gamma + \int_{\Omega} u_{lk}^* b_k d\Omega \quad (1)$$

sabendo-se que u_k e p_k são os deslocamentos e forças de superfícies na direção k , respectivamente.

Por razões computacionais é preferível adotar a (1) no contorno. Assim, com a obtenção dos valores nodais no contorno, é possível calcular os deslocamentos e as tensões nos pontos internos.

B. Algoritmos Genéticos

Os AGs são algoritmos de otimização numérica baseados na seleção natural e na genética. O método é aplicável em uma ampla gama de problemas [5].

Os AGs são inicializados com uma população de possíveis soluções onde cada indivíduo possui um código genético representado por um cromossomo artificial, visto como uma possível solução para o problema. Esses cromossomos são então submetidos a um processo evolucionário onde cada geração envolve um processo de avaliação, seleção, recombinação e mutação dos cromossomos. Após várias gerações, a população evolui de forma a obter indivíduos mais aptos. Para a avaliação da qualidade de cada indivíduo, calcula-se o valor de uma função aptidão. No caso deste trabalho essa função é dada por:

$$Z_k = \sum_{i=1}^{N_v} \left(\frac{\bar{x}_i - x_i}{x_i} \right)^2, k = 1, 2, \dots, N_p \quad (2)$$

Onde:

Z_k - o valor da função para cada indivíduo

\bar{x}_i - distância entre os dois pontos da estrutura

x_i - distância entre os dois pontos calculada pelo MEC

N_v - número de medidas

N_p - número de indivíduos

III. MODELO NUMÉRICO DE ESTUDO

O exemplo estudado, ilustrado pela Fig. 1, foi analisado por meio da modelagem de um corpo com uma malha de 512 elementos de superfície quadráticos. Este modelo representa uma barra de aço maciço com uma extremidade engastada e outra livre com a atuação de cargas concentradas ortogonais em um ponto, representadas por 3 forças de superfície aplicadas em um elemento. Sendo que os valores dessas forças de superfície, são as condições de contorno a serem encontradas pela análise inversa.

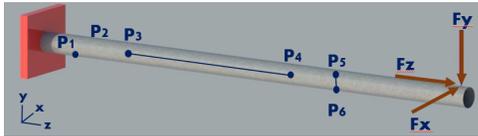


Figura 1. Representação do modelo estudado

Para esse modelo, foram adotadas as seguintes propriedades:

- Módulo de Elasticidade: 200GPa
- Coeficiente de Poisson: 0.32
- Comprimento da barra: 7.0m
- Diâmetro da barra: 0.3m

Primeiramente, foi feita uma análise direta com essas cargas concentradas, sobre um elemento na extremidade da barra, como condições de contorno pré determinadas, possuindo valores de 4.12kN, 12.32kN e 19.24kN respectivamente. Essas forças são representadas por forças de superfície (F_x , F_y e F_z) com valores de 300KPa, 900KPa e 1.4MPa.

Após a aplicação da análise direta obteve-se os deslocamentos nos pontos nodais dos elementos. Através desses resultados, três medidas das distâncias relativas após as deformações entre os pontos foram computadas como dados de entrada para a utilização do código com a análise inversa. Os pontos P1 e P2 representam os pontos nodais dos elementos 108 e 68, P3 e P4 dos elementos 303 e 124 e os pontos P5 e P6 referem-se aos elementos 117 e 178 da malha. Sendo esses pontos nodais com coordenadas iniciais mostrados na tabela I.

Tabela I
COORDENADAS DOS PONTOS NODAIS

Elementos	Coordenadas(m)		
	Coord. no eixo x	Coord. no eixo y	Coord. no eixo z
El 108	-0.139017	2.65165E-02	5.48333
El 68	-0.139017	2.65165E-02	0.81666
El 303	1.17050E-01	-7.95495E-02	0.35
El 124	-0.11705	-7.95495E-02	0.35
El 117	-0.11705	7.95495E-02	6.65
El 178	-0.11705	-7.95495E-02	6.65

Para análise inversa, assumiu-se que os três parâmetros procurados, que são as forças superficiais F_x , F_y e F_z , pertencem ao intervalo de 0MPa a 2MPa, representados por cromossomos binários de 14 dígitos. A população para cada geração possui 100 indivíduos. Não foi adotado nenhum critério de

parada, portanto o processo somente é interrompido na última geração sendo 100 o número de gerações. A probabilidade de recombinação é 70% e de mutação 0.5%. O programa fornece a resposta de cada geração com o seu respectivo valor da função aptidão, que quanto menor seu valor maior a qualidade do indivíduo. Já para a primeira geração o programa forneceu valores bem próximos dos procurados, conforme apresentados na tabela II.

Tabela II
MELHOR INDIVÍDUO DA GERAÇÃO 1

Forças Sup.	Melhor Indivíduo	
	Valor do melhor indivíduo	Valor da sua função aptidão
F_x	305926.87	9.80E-016
F_y	977964.96	9.80E-016
F_z	1390954.03	9.80E-016

A tabela III apresenta o resultado que o programa forneceu da 87ª geração em diante.

Tabela III
MELHOR INDIVÍDUO DA 87ª GERAÇÃO

Forças Sup.	Melhor Indivíduo	
	Valor do melhor indivíduo	Valor da sua função aptidão
F_x	296038.57	6.89E-018
F_y	900567.66	6.89E-018
F_z	1400720.25	6.89E-018

Ao avaliar os resultados ao longo das gerações, verificou-se uma evolução dos indivíduos ao longo das gerações demonstrando a validação do algoritmo para três parâmetros de busca. O programa gerou um resultado com erros relativos de 1.239%, 0.375%, 0.088% para os três parâmetros, respectivamente.

CONCLUSÕES

O algoritmo desenvolvido permitiu a obtenção de forças de superfície por meio de uma análise inversa. Os resultados obtidos apresentaram uma boa aproximação. O presente código está sendo desenvolvido para incluir a posição da força de superfície como outro parâmetro na busca da solução.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e a P&D Petro pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] M.A.C. Brebbia and J.N Goodier, *Teoria da Elasticidade*, Guanabara Dois, 1980.
- [2] E. Kita and H Tania, *Shape optimization of continuum structures by genetic algorithm and boundary element method*, End. Anal. B.Ound. Elem, 1997.
- [3] L. Lacerda and J.M. Silva, "A Dual BEM Genetic Algorithm Scheme for the Identification of Polarization Curves of Buried Slender Structures, CMES v.14, n.3 pp.153-160, 2006.
- [4] C. Brebbia and J. Domingues, *Boundary Elements An Introductory Course*, Mc Graw-Hill, 1992.
- [5] D. A. Coley, *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*, World Scientific, 1999.