



Solución de problemas de optimización topológica empleando el Algoritmo Simulated Annealing Modificado



C. Millán Páramo^{a,*} y O. Begambre Carrillo^b

^a Profesor Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia

^b Profesor Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 5 de septiembre de 2014

Aceptado el 21 de noviembre de 2014

On-line el 13 de marzo de 2015

Palabras clave:

Optimización topológica
Simulated annealing
Algoritmo Simulated Annealing Modificado

Keywords:

Topological optimization
Simulated annealing
Modified Simulated Annealing Algorithm

R E S U M E N

Este trabajo propone el empleo de la técnica estocástica de optimización ASAM para sustituir el criterio de optimalidad utilizado dentro del método de optimización topológica propuesto por Andreassen. Para evaluar y validar el desempeño de las técnicas planteadas, se abordaron 3 problemas de elasticidad plana reportados en la literatura especializada. Cada problema fue analizado empleando el Método de Elementos Finitos (MEF) con 3 tipos de mallas diferentes, con el fin de comparar los resultados obtenidos en cuanto a topologías, valor de energía de deformación y tiempos de ejecución promedio. Se logró establecer que el procedimiento que involucra a ASAM arroja menores tiempos computacionales a medida que se analizan los problemas con mallas más refinadas. Finalmente, las distribuciones de material en el dominio de diseño y valores de energía obtenidos fueron similares a los reportados en el trabajo de Andreassen, dando validez a la propuesta aquí presentada.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Solving topology optimization problems using the Modified Simulated Annealing Algorithm

A B S T R A C T

This work proposes the use of the MSAA stochastic optimization technique to replace the optimality criterion used in the topology optimization method proposed by Andreassen. To evaluate and validate the MSAA performance we studied three plane elasticity problems reported in the literature. Each problem was analyzed with three different finite element mesh types in order to compare the results obtained in terms of topology, strain energy value and average runtimes. It was established that the procedure involving the MSAA, yields lower computational times in problems with more refined meshes. Finally, the material distribution and the energy values obtained were similar to those reported in the work of Andreassen giving validity to the work presented here.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El problema de Optimización Topológica (OT) consiste en buscar una distribución óptima de material en un dominio de diseño que satisfaga las solicitaciones y las condiciones de borde definidas.

Generalmente, la OT ha sido formulada en términos de minimizar la energía de deformación de la estructura analizada.

En la mayoría de trabajos sobre OT reportados se encuentra que los métodos de optimización comúnmente empleados son: el criterio de Optimalidad Estándar (*Optimality Criteria*) [1–3], el Método de la Curva de Nivel (*Level Set Method*) [4] y la eficiencia de Pareto (*Pareto Optimal Tracing*) [5], entre otros. Sin embargo, se debe recordar que la OT es un problema con múltiples mínimos locales susceptible de solución a través de métodos estocásticos

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: carlos.millan@unisucre.edu.co (C. Millán Páramo).

diseñados para identificar mínimos globales. Por lo tanto, se propone en este estudio emplear el Algoritmo Simulated Annealing Modificado (ASAM) [6] debido a su notable desempeño en comparación con técnicas como Harmony Search, Algoritmos Genéticos y PSO-DE (*Particle swarm optimization-differential evolution*), entre otras. Para mayores detalles se recomienda consultar [6]. De forma general, todas estas técnicas exploran el espacio de búsqueda de una manera controlada y tienen la ventaja de no depender del cálculo de derivadas para llevar a cabo el proceso de optimización.

En su primera parte este trabajo presenta la descripción del problema de OT y los ejemplos numéricos de *benchmark* a analizar. Seguidamente se describe brevemente la técnica ASAM, sus fundamentos y los parámetros que la controlan. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos con la implementación de este método y se comparan con resultados de la literatura internacional.

2. Descripción del problema

Con la finalidad de encontrar la distribución óptima de material para cada una de las estructuras mostradas se procedió a discretizar el dominio de diseño mediante el Método de Elementos Finitos (MEF). En este estudio se emplearon elementos finitos tipo C4 [7], y a cada elemento (e) se le asignó una densidad X_e . El siguiente paso fue utilizar la ecuación (1) definida en el método SIMP modificado [1] (por su sigla en inglés, *Solid Isotropic Material with Penalization*) para definir el módulo de elasticidad de cada elemento.

$$E_e : E_e(x_e) = E_{\min} + x_e^p (E_0 - E_{\min}) \quad (1)$$

donde $x_e \in [0, 1]$ es la densidad del material, E_{\min} es un valor de densidad muy pequeño asignado para anular elementos con el fin de que la matriz de rigidez no se convierta en singular, y p es un factor de penalización (generalmente $p=3$) introducido para garantizar soluciones blanco y negro (*black-and-white*). La formulación matemática del problema de optimización se basa en una ley potencial, donde el objetivo es minimizar la energía de deformación, y se describe así [1]:

$$\min_x c(x) = U^T K U = \sum_{e=1}^N E_e(x_e) u_e^T k_0 u_e \quad (2)$$

Sujeto a:

$$V_{(x)}/V_0 = f \quad (3)$$

$$K U = F \quad (4)$$

$$0 \leq X \leq 1 \quad (5)$$

donde c es la energía de deformación a minimizar, U y F son los vectores de desplazamiento y fuerzas globales, respectivamente, K es la matriz de rigidez global, u_e es el vector desplazamiento del elemento, E_e está dado por la ecuación 1, k_0 es la matriz de rigidez del elemento, x es el vector de variables de diseño (es decir, las densidades de los elementos) y N es el número de elementos usados para discretizar el dominio de diseño, $V_{(x)}$ y V_0 son el volumen del material y el volumen del dominio de diseño, respectivamente, y f es la fracción de volumen. La fracción de volumen es la cantidad de material que se desea que quede en el elemento. Como se puede ver en la ecuación (1), el problema dado es convexo para $p=1$ y no convexo para $p>1$. Por tratarse entonces de un problema no convexo (con múltiples mínimos locales), se justifica el uso de las técnicas estocásticas.

Con el objeto de evitar problemas de inestabilidad numérica, el algoritmo de OT emplea una técnica de filtrado de densidad, descrito por Andreassen [1], el cual produce un alisado de las energías de deformación de los elementos, teniendo en cuenta el valor de la energía de los elementos vecinos, y así encontrar soluciones razonables. Para especificar los elementos vecinos (vecindario), se define

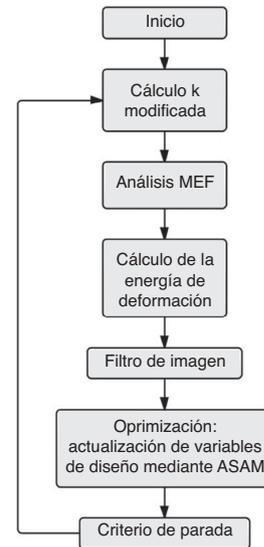


Figura 1. Proceso del algoritmo de OT.

el área de influencia empleando un radio (equivalente a un porcentaje del ancho del elemento 3-4%) para seleccionar el vecindario de cada elemento, que influirá en el valor de la derivada de la energía de deformación (con respecto a x_e) de este.

La estructura básica del algoritmo propuesto por Andreassen con la adición propuesta en este trabajo (ver punto 6) se presenta a continuación:

- 1) Diseño inicial. Se realiza una distribución homogénea del material en la geometría de trabajo.
- 2) Se calcula la matriz de rigidez global teniendo en cuenta la actual distribución del material.
- 3) Se calcula mediante elementos finitos el campo de desplazamientos para cierto estado de cargas.
- 4) Se calcula la energía de deformación con respecto la variable de diseño (densidades).
- 5) Se aplica un filtro con el objeto de encontrar soluciones menos pixeladas y más continuas, todo esto con el fin de evitar problemas de inestabilidad mencionados anteriormente.
- 6) Finalmente, mediante una técnica estocástica (ASAM), se calculan las nuevas densidades.
- 7) Se vuelve al paso 2.

De esta forma, el proceso continúa iterando hasta un punto en que el valor de las densidades no cambia significativamente y el bucle termina. La estructura del algoritmo enunciada anteriormente se representa mediante el diagrama de flujo representado en la figura 1.

2.1. Problemas propuestos de Optimización Topológica

Para evaluar el comportamiento de los algoritmos de optimización en problemas de OT, se realizaron 3 problemas de *benchmark* reportados en la literatura (fig. 2).

3. Técnicas estocásticas

Las técnicas estocásticas están entre los desarrollos más recientes en métodos aproximados para resolver problemas de optimización. Estos métodos usan conceptos basados en inteligencia artificial, biología, matemáticas, ciencia físicas y naturales. Esta sección presenta los fundamentos del Algoritmo Simulated Annealing Modificado (ASAM).

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702503>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702503>

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