Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. 2014;30(3):155–165

Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni

Sobre la utilización de códigos de elementos finitos basados en mallados cartesianos en optimización estructural

E. Nadal[a], J.J. Ródenas[a,*], E.M. Sánchez-Orgaz[a], S. López-Real[b,1] y J. Martí-Pellicer[a]

[a] Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España
[b] COMET Ingeniería, Convento Carmelitas, 2. 46010 Valencia, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:
Recibido el 29 de noviembre de 2012
Aceptado el 17 de abril de 2013
On-line el 12 de diciembre de 2013

Palabras clave:
Optimización de forma estructural
Estimación de error
Refinamiento adaptativo
Algoritmos evolutivos
Mallas cartesianas

RESUMEN

La optimización de forma estructural es un proceso iterativo constituido por un nivel superior que propone las geometrías a analizar, y un nivel inferior que evalúa numéricamente la respuesta estructural de estas, normalmente mediante el método de los elementos finitos (MEF). Estos procesos pueden reportar claros beneficios en entornos industriales pero su elevado coste computacional es un gran inconveniente. La eficiencia del proceso requiere eficiencia computacional en ambos niveles. Este trabajo se centra en la mejora del rendimiento del nivel inferior mediante una metodología que usa un código MEF para elasticidad 2D basado en mallas cartesianas independientes de la geometría, combinado con técnicas de reconstrucción de la solución a partir de la del MEF, adaptadas a este entorno. Estos mallados simplifican la generación de mallas y, con la estructura jerárquica adecuada reutilizan gran cantidad de cálculos. Las técnicas de reconstrucción juegan un doble papel: *a*) su uso en estimadores de error del tipo Zienkiewicz-Zhu permite cuantificar la calidad de la solución MEF para poder guiar el proceso de refinamiento *h*-adaptativo conducente a minimizar el coste computacional para una precisión dada, y *b*) proporcionan una solución, que puede ser utilizada en la práctica, más precisa que la del MEF. Los resultados numéricos, que incluyen una comparativa con un software comercial, muestran el efecto de la metodología propuesta sobre la mejora de la eficiencia de la optimización y de la calidad de la solución.
© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

On the use of Cartesian grid finite element code in structural optimization

Keywords:
Structural shape optimization
Error estimation
Adaptive remeshing
Evolutionary algorithms
Cartesian grids

ABSTRACT

The structural shape optimization is an iterative process built up by a higher level, which proposes the geometries to analyze, and a lower level which is in charge of analyzing, numerically, their structural response, usually by means of the Finite Element Method (FEM). These techniques normally report notorious advantages in an industrial environment, but their high computational cost is the main drawback. The efficiency of the global process requires the efficiency of both levels. This work focuses on the improvement of the efficiency of the lower level by using a methodology that uses a 2D linear elasticity code based on geometry-independent Cartesian grids, combined with FEM solution and recovery techniques, adapted to this framework. This mesh type simplifies the mesh generation and, in combination with a hierarchical data structure, reuses a great calculus amount. The recovery technique plays a double role: *a*) it is used in the Zienkiewicz-Zhu type error estimators allowing to quantify the FEM solution quality to guide the *h*-adaptive refinement process which minimizes the computational cost for a given accuracy; and *b*) it provides a solution, more accurate than the FEM one, that can be used. The numerical results, which include a comparative with a commercial code, show the effect of the proposed methodology improving the efficiency in the optimization process and in the solution quality.
© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

* Autor para correspondencia: Tel.:+34 963877621, Fax:+34963877629.
Correo electrónico: jjrodena@mcm.upv.es (J.J. Ródenas).
[1] Tel.:+34 96 340 98 50 / +34 660 470 430, Fax.:+34 96 340 98 55.

0213-1315/$ – see front matter © 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.
http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2013.04.009

1. Introducción

El uso de técnicas de optimización de forma de componentes industriales conduce a la obtención de piezas de menor peso y mejores prestaciones. Desde el punto de vista industrial, la disminución del material utilizado en una pieza suele llevar asociada una reducción de costes que es muy importante en sectores donde se fabrican grandes series, como es el caso del sector automovilístico.

Los procesos de optimización están constituidos por un nivel superior, gobernado por el algoritmo de optimización utilizado, y un nivel inferior, gobernado por el método numérico utilizado para analizar cada una de las múltiples soluciones. En problemas relativos a optimización de forma de componentes mecánicos estructurales, en el nivel inferior, se ha de utilizar un método numérico como el de los elementos finitos (MEF) para determinar el valor de la función objetivo (peso, desplazamiento...) y el grado de cumplimiento de las restricciones (limitaciones sobre tensiones máximas...) con el nivel de precisión que garantice la convergencia adecuada del proceso de optimización. El desarrollo de procedimientos eficaces de optimización requiere mejorar el rendimiento mediante actuaciones sobre ambos niveles.

Para la correcta convergencia del problema de optimización estructural es necesario controlar el error de discretización de cada uno de los individuos que se analizan. Tal y como muestran Ródenas et al. [29,30], si no se garantiza una mínima calidad en los resultados del análisis de cada diseño, que son los que se utilizan para alimentar el algoritmo de optimización, no se puede asegurar un comportamiento correcto del proceso de optimización, ya que se puede empobrecer la velocidad de convergencia del proceso, converger a una solución no óptima o incluso producir una solución final no factible que incumpla las restricciones impuestas. Por tanto, resulta necesario utilizar procedimientos de análisis adaptativos que proporcionen soluciones de la precisión adecuada con el mínimo coste computacional posible. Indudablemente, la utilización de este tipo de procedimientos supone un elevado coste computacional en el proceso de optimización, lo que evidencia aún más la necesidad de desarrollar software de análisis computacionalmente eficiente.

Así, este trabajo trata fundamentalmente sobre la mejora del rendimiento del nivel inferior del proceso de optimización, centrándose específicamente en el desarrollo de metodologías eficientes de análisis mediante el MEF que utilicen refinamiento *h*-adaptativo a fin de garantizar la adecuada precisión de los análisis.

Los análisis mediante el MEF se pueden complicar debido a que numerosos problemas industriales son geométricamente complejos y requieren muchas horas de análisis para generar una malla de EF adecuada. Esta tarea se puede simplificar enormemente usando técnicas que permitan la utilización de mallas de fácil construcción que sean independientes de la geometría. Ejemplos de distintos nombres con los que se conoce este tipo de aproximaciones son los de *Fictitious Domain* [16,9,28,7,26], *Implicit Meshing* [3], *Immersed FEM* [49], *Inmersed Boundary Method* [48,37], *Fixed Grid FEM* [15,8], etc. Este tipo de técnicas se han descrito en [6] bajo el término inglés *Finite elements in ambient space*. Estas técnicas se han mostrado como una alternativa a la aproximación tradicional mediante el MEF, en que se crea una malla de elementos finitos explícita del dominio para realizar el análisis. Con estas técnicas se plantea mallar el dominio de cálculo Ω implícitamente embebiendo a este en un dominio ω_E geométricamente mucho más simple, cuyo mallado resulta trivial. En nuestro caso, el dominio Ω_E será un dominio rectangular, que contiene al dominio Ω, que será discretizado mediante una *malla cartesiana*. Para realizar el análisis primero se intersecta el dominio Ω_E con el contorno de Ω de manera que en la evaluación de integrales de elemento solo participe el dominio de interés Ω. Tras aplicar las condiciones de restricción mediante técnicas específicamente adaptadas a mallados no conformes con el contorno del componente que hay que analizar, se puede proceder a la resolución final del problema.

Este tipo de técnicas se han utilizado tanto en el contexto del método de los volúmenes finitos (MVF) como en el del MEF. La literatura sobre este tipo de técnicas se remonta, según [7], a los años sesenta, en que V.K. Saul'ev publica, en ruso, el artículo *Solution of certain boundary-value problems on high-speed computers by the fictitious-domain method* (Sibirsk. Mat. Z. 4:912-925;1963). Posteriormente se han aplicado en diferentes campos. Entre otras referencias en cada disciplina, se pueden citar aplicaciones en: acústica [16,17,12], dinámica de fluidos e interacción fluido estructura [48,18], problemas biomédicos [27,39], convección-difusión [28], optimización [9,19,22,46], etc. El presente trabajo se centrará en el contexto del MEF.

Por otro lado, durante los últimos años se han desarrollado formulaciones avanzadas del MEF, como el *Extended Finite Element Method* [24,44] (XFEM), del grupo de T. Belytschko, o el *Generalized Finite Element Method* [42,43] (GFEM), del grupo de I. Babuška, en las que uno de los objetivos es independizar la malla de la geometría. XFEM está principalmente desarrollado para modelar grietas o inclusiones usando modelos donde la malla es independiente de la geometría de la grieta. Tanto la técnica XFEM como la GFEM se basan en el uso del método de la partición de la unidad [23] (PUM) para introducir funciones de enriquecimiento de la solución. Estas funciones permiten representar la discontinuidad de desplazamientos en las caras de grieta y la solución singular conocida en el extremo de la misma. Además, permiten introducir una descripción geométrica de la grieta a través del *Level Set Method* [40] (LSM). Esto mejora notablemente la precisión del modelo y permite además independizar la malla de la geometría, lo que resulta de enorme interés al analizar procesos de crecimiento de grietas. En GFEM se sigue un planteamiento similar basado en el PUM para incorporar funciones de enriquecimiento que describan las características conocidas de la solución del problema. Una de las implementaciones de GFEM permite independizar la malla de la geometría utilizando técnicas que permiten intersectar una malla de elementos (por ejemplo cartesiana) independiente de la geometría del componente que se va a analizar.

La principal desventaja de estas técnicas es la falta de precisión del método en los elementos situados sobre el contorno [7,3,37,15]. En el entorno del MEF se ha desarrollado el estimador del error de discretización de Zienkiewicz y Zhu [50] (ZZ), que requiere la evaluación de una solución reconstruida, *recovered*, $\boldsymbol{\sigma}^*$ en el caso de tensiones, de mayor calidad que la solución proporcionada directamente por el MEF $\boldsymbol{\sigma}^h$. El estimador ZZ goza de gran popularidad por su robustez, precisión y facilidad de implementación pero también porque en el proceso de cálculo se crea $\boldsymbol{\sigma}^*$, que puede ser utilizado como solución en vez de $\boldsymbol{\sigma}^h$. De entre las técnicas de *recovery* destaca sin duda la técnica *Superconvergent Patch Recovery* [51] (SPR). A través de diversos trabajos [35,10,31,33], Ródenas y sus colaboradores han mostrado modificaciones de la técnica SPR que proporcionan un campo $\boldsymbol{\sigma}^*$ de gran precisión, dado que en su obtención se impone localmente el cumplimiento de las ecuaciones de equilibrio en el interior y en el contorno, así como la de compatibilidad. Esto ha permitido incluso crear los primeros procedimientos prácticos de obtención de cotas superiores del error de discretización basados en *recovery* [10,33], propiedad que anteriormente requería, casi necesariamente, la utilización de estimadores de error residuales [2].

La referencia [3] indica: «*Unfortunately, for an implicit mesh it would be very difficult to implement such a superconvergent recovery scheme of the stress field for elements that intersect the boundary*». Sin embargo, en el contexto del *Extended Finite Element Method* [24,44] (XFEM), donde también la malla es independiente de la geometría, ya han sido propuestas, para mejorar la calidad de la solución,

Download English Version:

https://daneshyari.com/en/article/1702546

Download Persian Version:

https://daneshyari.com/article/1702546

Daneshyari.com