CSMA 2011
10e Colloque National en Calcul des Structures
9-13 Mai 2011, Presqu'île de Giens (Var)

Optimisation multi-niveaux d'assemblages en contact frottant

Bruno Soulier[1], Pierre-Alain Boucard[1]

[1]*LMT-Cachan*
(ENS Cachan/CNRS/UPMC/PRES UniverSud Paris)
61, av. du President Wilson F-94230 Cachan
{soulier,boucard}@lmt.ens-cachan.fr

Mots clés — optimisation, multi-niveaux de modèles, métamodèle, sous-structuration, méthode LATIN, multiparamétrique.

1 Contexte

La conception optimale et robuste de produits fait appel de façon massive à la simulation numérique où les phénomènes simulés sont de plus en plus détaillés. Pour aider l'ingénieur concepteur dans ses démarches d'optimisation qui deviennent de plus en plus complexes par leur caractère multi-niveaux et multi-disciplinaires, des méthodes numériques d'exploration de l'espace de conception par approximation globale sont développées. De manière générale, les fonctions objectif et contraintes d'un problème d'optimisation structurale sont implicites par rapport aux variables de conception et leurs évaluations sont synonymes d'analyses éléments finis et constituent les phases les plus coûteuses de l'algorithme de minimisation. De ce fait, les méthodes d'optimisation les plus efficaces font appel aux concepts d'optimisation multi-niveaux qui peuvent se classifier en trois catégories. On distingue l'optimisation parallèle de modèle basée sur des méthodes de décomposition de domaines, l'optimisation multi-niveaux de paramètres qui consiste à remplacer un problème d'optimisation par plusieurs sous-problèmes avec chacun un jeu réduit de paramètres, et l'optimisation multi-niveaux de modèles [3] [8] qui introduit plusieurs niveaux de modélisation. La méthode d'optimisation multi-niveaux de modèles utilisée ici est basée sur l'optimisation successive d'un métamodèle constituant le premier niveau de modélisation et du modèle mécanique complet constituant le second niveau. La réduction des coûts de calcul dans l'ensemble de la démarche d'optimisation nécessite la diminution des coûts de calcul inhérents à la génération du métamodèle qui nécessite des simulations sur le modèle mécanique complet, mais aussi la diminution dans la phase d'optimisation sur le modèle complet. Pour réduire ces coûts nous couplons une stratégie dite « multiparamétrique » basée sur une méthode non incrémentale et un métamodèle construit par interpolation diffuse. La méthode est illustrée sur des cas d'optimisation d'assemblages en contact frottant [5] [7].

2 Démarche

Nous présentons dans un premier temps la stratégie d'optimisation multi-niveaux de modèle basée sur un métamodèle d'interpolation cumulative [9] qui s'inspire des méthodes SPH [4]. Ce métamodèle permet de restituer les non-linéarités des fonctions objectifs et contraintes d'optimisation et d'en calculer explicitement les gradients. L'optimisation engendrant un nombre important de calculs, il est crucial d'introduire une stratégie de résolution adaptée permettant de réduire les temps de calcul lorsque les paramètres changent. Nous nous plaçons dans le contexte d'assemblage de pièces mécaniques qui sont modélisées par une méthode de décomposition de domaine mixte : les sous-domaines ou sous-structures représentent les pièces, et les interfaces modélisent les connexions entre ces pièces. Les non-linéarités sont supposées concentrées aux interfaces (contact, frottement, etc). Pour résoudre les problèmes lorsque les paramètres varient, nous utilisons une stratégie dite multiparamétrique qui s'appuie sur l'algorithme itératif *LATIN* développé par Ladevèze [6]. La méthode multiparamétrique [1] est basée sur le fait que l'algorithme *LATIN* peut être initialisé à partir de n'importe quelle solution vérifiant les conditions d'ad-

missibilité. Dans le cas d'une étude paramétrique, pour un jeu de paramètres donné, on réinitialise l'algorithme *LATIN* avec la solution convergée correspondant à un autre jeu de paramètres. Lorsqu'un paramètre évolue légèrement, la solution globale du problème change peu, ainsi, la convergence est atteinte plus rapidement en un nombre réduit d'itérations. Les paramètres pris en compte ici sont typiquement des efforts/déplacements imposés, les paramètres de frottement, les jeux, les pré-charges/serrages, soit tous les paramètres qui décrivent le comportement non-linéaire des interfaces. L'aspect multiparamétrique, est un point fondamental pour la réduction des coûts de calcul, tant pour la réalisation des calculs nécessaires à la génération du métamodèle que pour l'optimisation sur le modèle complet [10] [2].

3 Exemples

Nous illustrerons les performances de la stratégie multiparamétrique dans le contexte d'optimisation multi-niveaux de modèle d'exemples technologiques d'assemblages en contact frottant où l'optimisation porte sur les paramètres de liaison. Les algorithmes d'optimisation utilisés dans cette étude sont des algorithmes de descente où les gradients de la fonction coût sont calculés par différences finies. Dans cette approche, le premier appel à la fonction objectif est le plus coûteux, que ce soit lors de la construction du métamodèle ou au cours du processus d'optimisation. Pour les calculs suivants, lorsque les paramètres varient, on initialise l'algorithme *LATIN* avec la solution convergée issue d'un calcul précédent. Lors de la phase d'optimisation du modèle fin, on distingue deux types d'appel à la fonction objectif, les appels relatifs à l'évaluation de la fonction objectif pour un nouveau jeu de paramètres, et tous les appels nécessaires à l'évaluation des gradients. Ces derniers impliquant de plus petites variations des valeurs des paramètres, engendrent par conséquent des temps de calculs plus faibles. La comparaison — pour les deux phases de calcul faisant appel au simulateur — des temps CPU requis par la stratégie multiparamétrique par rapport à ceux évalués pour une méthode classique sans réinitialisation, montrent des gains importants en temps de calcul.

4 Remerciements

Ces travaux ont été effectués dans le cadre du projet ANR-08-COSI-007-10, OMD2 financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

Références

[1] P.A. Boucard, L. Champaney. *A suitable computational strategy for the parametric analysis of problems with multiple contact* International Journal for Numerical Methods in Engineering, 57,1259-1282, 2003.

[2] P.A. Boucard, S. Buytet, B. Soulier, P. Chandrashekarappa, R. Duvigneau. *Multidisciplinary Design Optimization in Computational Mechanics . Section Multilevel Modeling*, Publisher Hermes, 199-260, 2010.

[3] H. Engels, W. Becker, A. Morris. *Implementation of a multi-level optimisation methodology within the e-design of a blended wing body*, Aerospace Science and technology, 8, 145-153, 2004.

[4] R.A. Gingold, J.J. Monaghan. *Smooth particle hydrodynamics : theory and application to non-spherical stars*, Monthly Notices Roy. Astronm. Soc., 181, 375-189, 1977.

[5] D. Hilding, A. Klarbring, J. Petersson. *Optimization of structures in unilateral contact*, Applied Mechanics Reviews, 52 :139-160, 1999.

[6] P. Ladevèze. *Nonlinear Computational Structural Mechanics - New Approaches and non-Incremental Methods of Calculation*, Springer Verlag, 1999.

[7] W. Li, Q. Li, G.P. Steven, Y.M. Xie. *An evolutionary shape optimization for elastic contact problems subject to multiple load cases*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 194 :3394-3415,2005.

[8] G.M. Robinson, A.J. Keane. *A case for multi-level optimisation in aeronautical design*, Aeronautical Journal, 103, 481-485, 1999.

[9] B. Soulier, L. Richard, B. Hazet, V. Braibant. *Crashworthiness optimization using a surrogate approach by stochastic response surface*, Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Springer, 159-168, 2003.

[10] B. Soulier, P.A. Boucard. *A multiparametric strategy for the large-scale multilevel optimization of structural assemblies*, 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization - WCSMO-8, 2009.