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

Traitement des problèmes de contact en calcul parallèle

V.A. Yastrebov[1], F. Feyel[2], G. Cailletaud[1]

[1] *Centre des Matériaux, MINES ParisTech, CNRS UMR7633, France, {vladislav.yastrebov,georges.cailletaud}@mines-paristech.fr*
[2] *Onera, France, frederic.feyel@onera.fr*

Résumé — Cet article propose une méthode d'implémentation des algorithmes permettant de traiter des problèmes de contact en parallèle. Les questions de la détection de contact et de la symétrisation de la matrice de rigidité associée à l'algorithme de contact sont abordées. Les performances parallèles des trois méthodes principales de résolution de contact (pénalisation, multiplicateur de Lagrange, lagrangien augmenté) sont comparées dans le cadre d'une étude de cas du domaine aéronautique.
Mots clés — Contact, frottement, méthode des éléments finis, décomposition de domaine, calcul parallèle.

1 Introduction

De plus en plus fréquemment, l'ingénieur est confronté à la simulation de systèmes complets plutôt que de composants élémentaires. La conséquence est qu'il doit prendre en compte les interactions entre pièces, et des conditions de contact complexes, qui ne peuvent pas être approchées par des conditions aux limites simples. La représentation d'un tel système demande souvent une discrétisation très fine pour reproduire une géométrie complexe et capter les forts gradients de contraintes présents dans la zone de contact. Plus le modèle numérique est important, plus il demande de ressources. Même pour des systèmes relativement simples, celles-ci peuvent alors dépasser largement la capacité d'un ordinateur en mémoire comme en temps nécessaire pour le calcul. Ceci explique qu'il faille maintenant penser à distribuer la charge de calcul parmi plusieurs processeurs, en implémentant des algorithmes de contact en parallèle. Beaucoup de méthodes permettant le traitement parallèle des problèmes de mécanique des milieux continus ont été développés. L'approche la plus reconnue et robuste pour ce type de problème est la méthode de décomposition de domaine [6], [4] : FETI [3], FETI-DP, etc. Cependant le traitement du contact en parallèle n'exige pas uniquement l'implémentation de la méthode de résolution d'équation en parallèle. Des efforts supplémentaires doivent être également faits pour pouvoir traiter en parallèle les problèmes liés au contact (détection, symétrisation, redistribution des éléments).

2 Résolution parallèle

La plupart des méthodes parallèles sont développées pour des problèmes à matrice de rigidité symétrique. Or la matrice de rigidité résultant de la formulation du contact avec frottement n'est pas symétrique [7]. Pour effectuer le traitement numérique, il faut donc appliquer une technique particulière de symétrisation de la matrice, soit adapter les méthodes de parallélisation. Cette question est discutée en détail dans l'article.

3 Détection de contact

La procédure de détection du contact de type *all-to-all* peut rester recommandable si le nombre d'éléments de contact ne dépasse pas quelques centaines. Dès que ce chiffre augmente, la procédure de détection devient très gourmande en temps et peut être du même ordre de grandeur que le temps de résolution du problème. Il devient alors indispensable de disposer d'une méthode rapide et robuste de détection qui ne soit pas en n^2. Les méthodes de détection proposées dans littérature sont toutes basées sur la notion d'arbre, sur la division de l'espace en mailles [2], ou sur les deux en même temps. La méthode

de division de l'espace est applicable à la détection en parallèle même pour le cas d'auto-contact [8] ; elle permet de rendre le temps de détection négligeable par rapport au temps de calcul total.

4 Discussion

Les algorithmes de traitement du contact en parallèle ont été implémentés dans le code de calcul par éléments finis ZéBuLoN. Trois méthodes de résolution du contact inspirées de la théorie d'optimisation ont été considérées : la méthode de pénalisation, la méthode des multiplicateurs de Lagrange [5] et la méthode du lagrangien augmenté [1]. Leurs performances en calcul parallèle sont comparées pour le cas d'une discrétisation du contact de type NTS (*node-to-segment*). La question de la stabilité du schéma numérique est abordée dans le cas d'un disque de moteur aéronautique (Fig.1).

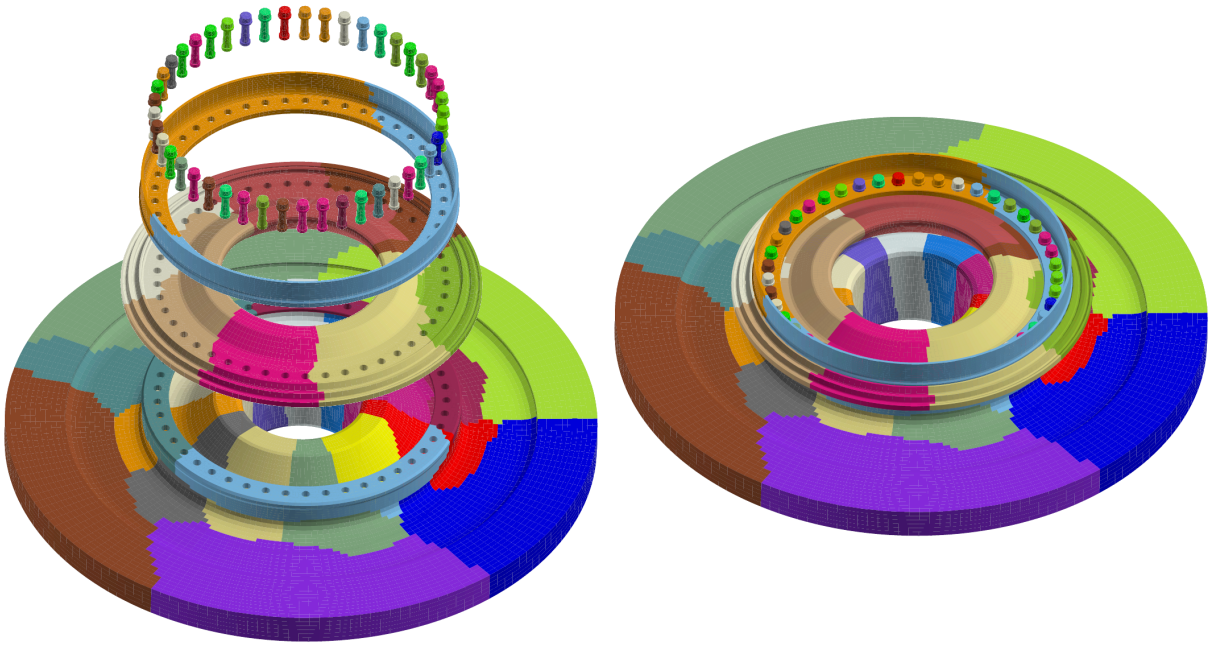

FIG. 1 – Exemple d'un problème de contact où l'utilisation du parallélisme est indispensable. Découpage en sous-domaines (couleurs différentes) du disque de turbine d'avion : 3 pièces assemblées par 45 boulons

Références

[1] P. Alart, A. Curnier, *A mixed formulation for frictional contact problems prone to Newton like solution method*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.92, Issue 3, pp. 353–375, 1991.

[2] D.J. Benson, J.O. Hallquist, *A single surface contact algorithm for the post-buckling analysis of shell structures*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 78, pp. 141–163, 1990.

[3] C. Farhat, F.-X. Roux. *Implicit parallel processing in structural mechanics*, Computational Mechanics Advances, 2 no 1, pp. 1–24, 1994.

[4] P. Gosselet, C. Rey, *Non-overlapping domain decomposition methods in structural mechanics*, Archives of Computational Methods in Engineering, 13(4), pp. 515–572, 2006.

[5] N. Kikuchi, J.T. Oden, *Contact Problems in Elasticity : A Study of Variational Inequalities and Finite Element Methods*, SIAM, Philadelphia, 1988.

[6] A. Toselli, O. Widlund, *Domain decomposition methods - algorithms and theory*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.

[7] P. Wriggers, *Computational contact mechanics*, Second edition, Springer, 2006.

[8] V.A. Yastrebov, G. Cailletaud, F. Feyel, *A local contact detection technique for very large contact and self-contact problems : sequential and parallel implementations*, Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Springer, in press.