بسم الله الرحمن الرحيم

Au nom de Dieu le très miséricordieux,

le tout miséricordieux

HAMID SHARIFI

MAILLAGE AUTOMATIQUE PAR LA MÉTHODE DE QUADTREE/OCTREE MODIFIÉE

Thèse
présentée
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

Département de génie mécanique
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

DÉCEMBRE 1995

Résumé court :

Dans cette thèse, la méthode de quadtree/octree modifiée pour la génération de maillage pour les éléments finis en 2D et 3D a été améliorée. Nous utilisons une représentation unifiée basée sur des modèles B-spline rationnels non uniformes (NURBS) pour la géométrie des courbes et des surfaces. En 2D, les quadrants frontières ont été générés entre les côtés libres des quadrants intérieurs et les courbes frontières, en éliminant les quadrants partiels et extérieurs. De la même façon, en 3D, on génère les octants frontières entre les faces libres des octants intérieurs et les surfaces frontières, en éliminant les octants partiels et extérieurs. De cette manière, on élimine tous les cas particuliers de quadrants et d'octants coupés (4096 cas différents en 3D). Par ailleurs, les algorithmes séquentiels et parallèles des différentes étapes de génération de maillage sont également présentés. Enfin plusieurs exemples présentés démontrent la validité et la robustesse de l'approche.

H. Sharifi A. Gakwaya

Abstract :

In this thesis an improved modified quadtree/octree method for finite element mesh generation for two and three dimensional problems is presented. By using a closed non uniform rational B-spline (NURBS) for curves and surface models, a unified geometric representation is achieved. In 2D, the exterior and partial quadrants are eliminated and boundary quadrants are created between the boundary curves and the free sides of the interior quadrants. In 3D, the exterior and partial octants are eliminated and boundary octants are created between the boundary surfaces and the free faces of the interior octants. In this way all of the particular cases of the cut quadrants or cut octants (4096 different cases) are eliminated. Corresponding sequential and parallel algorithms of the different steps of the mesh generation process are also presented. Various examples are given to demonstrate the validity and the robustness of the approach.

H. Sharifi A. Gakwaya

Résumé long :

Pour mettre au point un environnement automatique et convivial de conception et fabrication assistée par l'ordinateur (CAO/FAO) qui intègre les différentes étapes de conception de pièces et de leur analyse structurale par Élément Finis, on a besoin d'un mailleur souple et versatile en deux et trois dimensions. La méthode de Quadtree/Octree modifiée est une méthode bien intéressante pour automatiser entièrement l'étape de génération de maillage en éléments finis. La difficulté avec cette approche est le traitement des quadrants/octants coupés. On peut améliorer cette méthode en prêtant une attention particulière aux quadrants et aux octants frontières. Pour la représentation des courbes et des surfaces délimitant les pièces, nous utilisons une approche unifiée basée sur des modèles B-spline rationnels non uniformes (NURBS). En 2D, les quadrants frontières ont été générés entre les côtés libres des quadrants intérieurs et les courbes frontières, en éliminant les quadrants partiels et extérieurs. De cette manière, on élimine tous les cas particuliers de quadrants coupés déjà mentionnés. L'algorithme utilisé est simple et est basé sur le principe de projection d'un point sur une courbe B-spline paramétrique. Nous avons aussi amélioré la méthode d'octree modifiée pour le maillage en 3D. En 3D, on a étendu l'approche ci-dessus et on génère les octants frontières entre les faces libres des octants intérieurs et les surfaces frontières, en éliminant les octants partiels et extérieurs. De cette manière, on élimine tous les cas particuliers d'octants coupés (4096 cas différents en 3D). Ainsi tous les traitements particuliers de génération de maillages à partir des quadrants et des octants coupés deviennent inutiles, ceci allège donc la programmation. L'algorithme utilisé en 3D est basé sur le principe de projection d'un point sur une surface B-spline paramétrique. Par ailleurs, les algorithmes séquentiels et parallèles des différentes étapes de génération de maillages sont également présentés. Des exemples présentés démontrent la validité et la robustesse de l'approche et les résultats de maillage ont été appliqués dans des calculs par éléments finis avec le logiciel PATRAN.

H. Sharifi A. Gakwaya

Remerciements :

Je tiens à remercier vivement Monsieur A. Gakwaya, professeur de département de génie mécanique et directeur de cette thèse pour le savoir qu'il m'a transmis, pour ses conseils et ses directives, et pour son soutien aussi bien scientifique que moral qui m'ont permis de réaliser mes travaux dans les meilleures conditions.

Je désire aussi remercier Monsieur C. Dupuis, professeur de département d'informatique et mon codirecteur pour ses conseils en parallélisation des processus de génération de maillage.

Je remercie également Monsieur Jean-Loup Robert de département de génie civil et Madame Marie-Gabrielle Vallée de CERCA, Montréal d'avoir accepté de corriger cette thèse et de me faire part de leurs commentaires.

Merci enfin, à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la bonne réalisation de ces travaux.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

NOTATION

{ }	matrice colonne : vecteur
[ ]	matrice
*	utilisé pour définir une quantité virtuelle (exemple u^{*})
e	utilisé pour définir une quantité dans un élément
~	utilisé pour traduire un vecteur
W	forme intégrale
D_m	région m
$\underset{\sim}{u}^{*}(u^{*},v^{*},w^{*})$	déplacement virtuel
$<M>=[M]^T$	transposé de la matrice [M]
ξ	coordonnées paramétriques ξ, η, ζ
ξ, η, ζ	coordonnées paramétriques
ξ', η', ζ'	coordonnées paramétriques à la deuxième transformation
L	un opérateur
C	un opérateur
f	une fonction
b	une fonction
∂v	frontière du domaine v
{F(t)}	vecteur sollicitation dynamique
[N]	matrice des fonctions d'interpolation en variables paramétriques
N_i	fonctions d'interpolation en variables paramétriques, fonction de forme
{x}	position d'un point
$\{x_n\}$	coordonnées nodales d'un élément
u^e	coordonnées paramétriques dans un élément
$\{u_n^e\}$	vecteur de coordonnées paramétriques d'un élément
[k]	matrice élémentaire (dite de rigidité)

$\{f_n\}$	vecteur élémentaire des sollicitations
[K]	matrice rigidité globale
$[k^e]$	matrice rigidité d'un élément
[F]	vecteur des sollicitations globales
$[f^e]$	vecteur de sollicitation d'un élément
[U]	ensemble des variables nodales
{U*}	ensemble des variables nodales virtuelles
[M]	matrice de masse globale
[C]	matrice d'amortissement
$\{\dot{U}\}$	vecteur de vitesse
$\{\ddot{U}\}$	vecteur d'accélération
Ω	domaine du problème à mailler
Ω_i	domaine de la fenêtre i, sous domaine i du problème global
P	problème global
P_i	sous problème i du problème P
V_h	l'espace d'approximation global
V_{hi}	l'espace d'approximation local du sous problème P_i au domaine Ω_i.
Λ	la zone de collement du support et de la fenêtre, la bande de collement
$\lambda^+(x),\lambda^-(x)$	les fonctions de superposition des domaines (resp. de la fenêtre et du support)
n	degré du polynôme de la courbe de Bézier (fonction de forme)
$[F_n]$	matrice des fonctions de forme (blending functions)
$[B_n]$	matrice des coefficients géométriques
[B]	matrice des points de contrôle
[V]	matrice des points de contrôle
P_i	points de contrôle
V_i	points de contrôle

f_i	fonctions de pondération ou de forme
p(u)	fonction paramétrique
r(t)	fonction paramétrique
[U]	matrice de la base polynomiale d'approximation en direction u.
[W]	matrice de la base polynomiale d'approximation en direction w.
$[M_n]$	matrice de coefficients algébriques de Bézier
$[M_C]$	matrice de coefficients algébriques de la B-spline non-uniforme
[M]	matrice de coefficients algébriques de la B-spline
k	facteur d'échelle arbitraire
k	l'ordre de la courbe paramétrique B-spline
$N_{i,k}(u)$	fonctions de base B-spline normalisées (fonctions de forme)
$N_{i,k}^{(l)}(u)$	fonction de base B-spline dans l'intervalle l
X = (x, y, z)	coordonnées d'un point quelconque sur un élément.
$\{x_n^e\}$	vecteur des coordonnées nodales d'un élément.
t_i	valeur nodale pour la représentation de la courbe B-spline
∇_i	l'espacement nodal
∇_i^n	$\nabla_i + \nabla_{i+1} + ... + \nabla_{i+n-1}$
n_{ij}	élément de la range i et de la colonne j
T_0, T_n	vecteurs tangents aux extrémités de la courbe
Z_i	i = 0, ..., 3 les points de Bézier de la courbe cubique (segment) B-spline.
$b_i^m(u)$	points intermédiaires de Boor.
m	multiplicité du noeud ($1 \leq m \leq d$).
d	degré de la courbe B-spline.
$J_{n,i}(u)$	fonction de forme de Bernstein dans la direction paramétrique u
$K_{m,j}(w)$	fonction de forme de Bernstein dans la direction paramétrique w
$B_{i,j}$	matrice des points du polygone de contrôle de la surface.
B^{ij}	matrice des points du polygone de contrôle d'un carreau de surface.

$V_{i,j}$	un point du polygone de contrôle de la surface.
P(u,w)	représentation paramétrique d'un carreau "patch"
s_i	vecteur nodal dans la direction u.
D_u	vecteur nodal dans la direction u.
t_i	vecteur nodal dans la direction w.
D_w	vecteur nodal dans la direction w.
$r^{ij}(u,w)$	représentation paramétrique d'un carreau "patch"
X	vecteurs de torsion (twist).
S	vecteurs tangents en direction u.
T	vecteurs tangents en direction w.
P	matrice des points sur la surface.
m,n	les nombres d'espacements en direction u et w respectivement.
q_{ij}	poids
Q	matrice de poids
Q	un point dans l'espace à 2 ou 3 dimensions.
P	point de la projection du point Q sur la courbe p(u).
$p^u(u)$	dérivée de p(u) par rapport à u.
$p^{uu}(u)$	dérivée seconde de p(u) par rapport à u.
T	vecteur nodal de la courbe B-spline
r(u, w)	surface paramétrique
$r(u_q, w_q)$	point sur la surface paramétrique r(u, w) qui soit le plus proche du point Q.
$r(u_i, w_i)$	point sur la surface paramétrique r(u, w).
d	distance de départ dans le processus de trouver un point sur la surface paramétrique r(u, w) qui soit le plus proche du point Q.
e	distance minimum à trouver dans le processus de trouver un point sur la surface paramétrique r(u, w) qui soit le plus proche du point Q.
∇u	incrément paramétrique de déplacement dans l'espace dans la

	direction u.
∇w	incrément paramétrique de déplacement dans l'espace dans la direction w.
r_u	gradient évalué en (u_i, w_i) en direction u.
r_w	gradient évalué en (u_i, w_i) en direction w.
N	nombre de processeurs utilisés dans un algorithme parallèle.