



Model reduction, data-based and advanced discretization in computational mechanics

Conserving and decaying energy for finite-strain three-dimensional solids with rotational degrees of freedom in nonlinear dynamics



Conservation et dissipation d'énergie dans les solides tridimensionnels en grandes transformations avec des degrés de liberté rotationnels en dynamique non linéaire

Abir Boujelben^a, Adnan Ibrahimbegovic^b

^a Sorbonne Universités, Université de technologie de Compiègne, Laboratoire Roberval de mécanique, Centre de recherches de Royallieu, CS 60319, 60200 Compiègne cedex, France

^b Sorbonne Universités, Université de technologie de Compiègne, Laboratoire Roberval de mécanique, Chair of Computational Mechanics, Centre de recherches de Royallieu, CS 60319, 60200 Compiègne cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 May 2017

Accepted 23 January 2018

Available online 9 May 2018

Keywords:

3D solids

Nonlinear dynamics

Large displacements and rotations

Conserving/decaying algorithms

Mots-clés:

Solide 3D

Dynamique non linéaire

Grandes transformations

Algorithme de conservation/dissipation

ABSTRACT

In this work, we design a time-stepping scheme, which can ensure either conservation of energy or dissipation of energy of high (unresolved) modes for nonlinear dynamic analysis. The latter is needed to improve the performance in stress computation and long-term numerical stability. Finite element implementation details are given for finite-strain three-dimensional solid model with independent rotational degrees of freedom. The addition of a rotation field requires a particular choice of large strain measures, allowing one to separate large rotation and large displacement. Several numerical simulations illustrate a very satisfying performance of the proposed time-stepping scheme.

© 2018 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

R É S U M É

Dans cet article, nous développons un schéma implicite d'intégration temporelle capable d'assurer, soit la conservation de l'énergie, soit la dissipation de l'énergie d'un système dynamique non linéaire. Ce dernier est particulièrement intéressant pour améliorer la stabilité numérique pour le calcul sur un grand intervalle du temps. L'implémentation de la méthode des éléments finis est présentée en détail pour un modèle de solide tridimensionnel en grandes transformations qui fait intervenir des degrés de liberté de rotation indépendants. La prise en compte de la rotation implique un choix judicieux de la mesure des grandes déformations pour séparer les grands déplacements des grandes

E-mail addresses: abir.boujelben@utc.fr (A. Boujelben), adnan.ibrahimbegovic@utc.fr (A. Ibrahimbegovic).

<https://doi.org/10.1016/j.crme.2018.04.006>

1631-0721/© 2018 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

rotations. La performance du schéma proposé est illustrée à travers de nombreux exemples de simulations.

© 2018 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Version française abrégée

L'analyse dynamique non linéaire s'effectue généralement par des schémas d'intégration temporelle, en privilégiant les schémas implicites tels que celui de Newmark, car ils n'imposent pas de restrictions sévères pour le choix du pas de temps. Cependant, dans le cas des systèmes raides où la réponse est dominée par une grande différence des modes à basse et à haute fréquences, ces schémas ne sont pas suffisants pour garantir la stabilité du calcul numérique. Pour surmonter ce problème, nous développons un schéma d'intégration qui garantit la conservation de l'énergie à chaque pas de temps et qui permet, en cas de besoin, de forcer la dissipation numérique de la contribution des hautes fréquences.

Dans ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement à l'implémentation de la méthode des éléments finis pour le schéma proposé de modèle de solide tridimensionnel en grandes transformations qui fait intervenir des degrés de liberté rotationnels indépendants. La prise en compte des rotations implique un choix spécifique de la mesure de la déformation : la déformation de Biot. Les approximations discrètes des champs de déplacement et de rotation sont obtenues par une interpolation linéaire standard. Afin d'homogénéiser l'approximation des mesures de déformation, on fait appel à la méthode des modes incompatibles, permettant d'augmenter l'ordre de l'approximation du champ de déplacement par l'addition d'un champ de déplacement amélioré (quadratique).

Le problème est présenté sous une formulation variationnelle régularisée en grandes déformations, avec une forme quadratique simple du terme d'inertie – voir l'Éq. (3). Ce dernier est exprimé en termes de déplacements, tandis que le champ de rotation contribue uniquement aux mesures de la déformation. Ceci implique la présence d'un bloc de termes nuls associés aux degrés de liberté de rotation dans la matrice masse, provoquant des modes en fréquences infinies. Pour contrôler l'effet indésirable de ces modes, nous proposons d'abord d'introduire une forme régularisée des termes d'inertie associés aux degrés de liberté de rotation, afin d'éviter la présence des fréquences infinies. Ensuite, nous exploitons le schéma de conservation d'énergie afin d'assurer la stabilité du calcul, même en cas de domination de modes à hautes fréquences, qui apparaissent comme le résultat de la régularisation.

Le schéma proposé est basé sur le schéma de point milieu, en y apportant quelques modifications afin de satisfaire le caractère conservatif. D'une part, ces modifications concernent une expression alternative de la relation de comportement en $t_{n+\frac{1}{2}}$ sous forme algorithmique, de telle sorte que le terme de déformation dans la formulation variationnelle corresponde à l'incrément de l'énergie potentielle – voir les Éqs. (12) et (13). D'autre part, une approximation spécifique du vecteur de vitesse linéaire permet d'égaliser le terme d'inertie et l'incrément de l'énergie cinétique – voir les Éqs. (10) et (11). En supposant que les efforts extérieurs sont conservatifs, la conservation d'énergie est bien assurée. Un autre enjeu s'impose lors de la construction du schéma d'intégration : c'est l'approximation du champ de rotation, qui est extrêmement non linéaire. Dans une démarche de simplification, on retient une approximation linéaire.

Une autre alternative proposée pour contrôler les problèmes d'instabilité causés par des systèmes d'équations raides consiste à introduire une dissipation numérique des hautes fréquences à chaque pas de temps. L'originalité de ce schéma réside dans l'addition des termes dissipatifs – voir les Éqs. (18) et (20) – sans toucher à l'algorithme défini dans le cas de la conservation d'énergie, de manière à ce que les deux schémas puissent partager le même espace de stockage pour les variables internes. Autrement dit, les modifications concernent seulement l'actualisation du vecteur de vitesse et la relation algorithmique du comportement.

En conclusion, la conservation ou la dissipation de l'énergie totale est une propriété importante des schémas d'intégration temporelle, particulièrement pour des calculs sur un grand intervalle de temps, où l'on souhaite atténuer l'effet indésirable des hautes fréquences sur le déclenchement d'instabilités, sans oublier la contribution de la régularisation de masse dans le cas du solide 3D avec des degrés de liberté de rotation. D'ailleurs, ce modèle se révèle favorable pour l'analyse de structures combinées d'éléments solides et d'éléments structures, d'autant plus que plusieurs travaux antérieurs ont été réalisés à propos de la conservation d'énergie d'éléments poutres.

1. Introduction

The dynamic analysis of geometrically nonlinear problems dominated by high-frequency modes is extremely difficult to solve by using standard implicit time-stepping schemes, such as Newmark's method. To resolve this important issue, a very active research has been elaborated on conserving or/and decaying energy time-stepping schemes for nonlinear dynamics of rods [1–3] and shell-like structures [4,5] undergoing large overall motion. The main motivation of these approaches is to ensure the satisfying computational performance in the case of stiff problems, mainly for long-term response.

In this paper, we are interested in the regularized variational formulation for the nonlinear dynamics of three-dimensional solid with independent rotational degrees of freedom. The formulation is set in a fixed frame, featuring a

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/7216101>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/7216101>

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