

Titre : Couplage géométrie / mécanique pour l'animation d'objets détaillés

Directeur(s) de Thèse : David Cazier (PR)

Unité(s) d'Accueil(s) : ICube

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg

Collaboration(s) (s'il y a lieu) : Equipe INRIA MIMESIS

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) :

Résumé (1500 caractères au maximum) :

Cette thèse vise à développer des outils et modèles multi-échelles pour l'animation et la manipulation d'objets déformables en vue d'obtenir un couplage des modèles mécaniques, pilotant les déformations, et des modèles géométriques. La multirésolution permet de représenter des objets très détaillés à différentes échelles et permet leur manipulation à différents niveaux de contrôle. Sur le plan mécanique, les méthodes classiques permettent de simuler des comportements comme l'élasticité ou la viscosité, en utilisant un maillage volumique pour évaluer la déformation des objets et en déduire une réponse mécanique aux déformations subies.

Le but de cette thèse est de coupler les modèles physiques et géométriques multirésolutions pour l'animation et la manipulation d'objets déformables. Les niveaux grossiers seront pilotés par des modèles mécaniques, alors que les détails géométriques seront gérés par une approche multirésolution. Le but est de permettre la déformation d'objets détaillés au sein de scènes complexes et autoriser aussi bien des déformations globales que des déformations très localisées, en adaptant en continu la résolution des modèles.

Nous expérimentons différents types de maillages couplés à différents modèles physiques. Nous chercherons à définir les paramètres pertinents de ce couplage : passage d'un niveau de résolution à l'autre, conversion des déplacements géométriques en déformations mécaniques, propagation des réponses mécaniques.

Cette thèse vise à développer des outils et modèles multi-échelles pour la représentation géométrique, l'animation et la manipulation interactive d'objets déformables. Nous nous intéressons au couplage de modèles mécaniques, pilotant la déformation élastique des objets manipulés, et de modèles géométriques multirésolutions très détaillés.

Les modèles géométriques multirésolutions permettent de représenter des objets 3D à différentes échelles, ou niveau de détails. Par exemple, les surfaces de subdivision sont beaucoup utilisées dans le domaine de l'animation ou du jeu vidéo. Les détails géométriques sont encodés à différentes échelles. En premier lieu, cela facilite leur manipulation en offrant différents niveaux de contrôle : déformation globales, à large échelle, ou déformation locales, aux échelles les plus fines. D'autre part, cela a permis le développement d'outils sophistiqués pour le traitement de la géométrie (filtrage, lissage, débruitage, etc.). Les méthodes de déformation basées sur la géométrie ont cependant des limitations fortes comme la non conservation des volumes, l'absence de réalisme physique et la limitation à des modèles mécaniques très simplifiés dits « As Rigid As Possible ».

Sur le plan physique, des méthodes numériques, comme la méthode des éléments finis, permettent de simuler différentes lois de comportement, comme l'élasticité ou la viscosité. Ces méthodes utilisent en général un maillage volumique pour évaluer les déformations (élongation, pliage, torsion) des objets manipulés et en déduire des forces de réponse mécanique aux déformations subies. Dans le cadre d'applications interactives, pour des questions de performances, ces calculs sont effectués sur des maillages relativement grossiers. Une adaptation du maillage, par exemple par subdivision, est parfois utilisée pour prendre en compte des déformations trop importantes.

Le but de cette thèse est de coupler de tels modèles physiques avec des représentations géométriques multirésolutions pour l'animation et la manipulation, en réalité virtuelle, d'objets déformables. Les niveaux grossiers seront pilotés par des modèles mécaniques, alors que les détails géométriques seront gérés par une approche multirésolution. Cela permettra de gérer efficacement des déformations globales d'objets très détaillés, tout en permettant de gérer des déformations fines, très localisées, en passant de manière adaptative du modèle géométrique au modèles physique.

Un tel couplage doit également nous permettre d'aborder la simulation interactive de fractures et de déchirures qui restent un verrou important dans le domaine de la simulation interactive d'objets déformables. La structure multirésolution qui sera développée devra permettre de propager d'un niveau de résolution à l'autre les changements topologiques induits par les fractures (c'est-à-dire par des forces internes) ou par les découpes (provoquées par des interactions externes).

Nous expérimenterons différentes représentations mécaniques (éléments finis linéaires sur des tétraèdres ou hexaèdres, éléments finis de degré supérieur) et différents schémas de subdivision avec des modèles approximant ou interpolant. Il faudra également définir les paramètres pertinents de ce couplage : conditions pour passer d'un niveau de résolution à l'autre, degré de conversion de déplacements géométriques en déformations mécaniques, niveau de propagation des réponses mécaniques aux détails géométriques.

L'ensemble des travaux donnera lieu au développement d'un outil de déformation volumique multirésolution qui utilisera la plateforme CGoGN développée par l'équipe.

Références bibliographiques :

- C. Paulus, N. Haouchine , S-H. Kong , R. Soares , D. Cazier, S. Cotin, **Handling Topological Changes during Non-Rigid Registration: Application to Augmented Reality in Laparoscopic Surgery**, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol 12(3), 2016.
- L. Untereiner, P. Kraemer, D. Cazier, D. Bechmann. **CPH: a compact representation for hierarchical meshes generated by primal refinement**, *Computer Graphics Forum*, Vol 34(8):155-166, 2015.
- C. Paulus, L. Untereiner, H. Courtecuisse, S. Cotin, D. Cazier. **Virtual Cutting of Deformable Objects based on Efficient Topological Operations**, *Visual Computer*, Vol. 31(6-8), 2015.
- L. Untereiner, D. Cazier, D. Bechmann. **n-Dimensional multiresolution representation of subdivision meshes with arbitrary topology**, *Graphical Models, Academic Press - Elsevier*, Vol. 75(5):231-246, 2013.
- P. Kraemer, D. Cazier, D. Bechmann. **Extension of half-edges for the representation of multiresolution subdivision surfaces**, *Visual Computer*, Vol. 25(2):149--163, 2009.
- J. Gain, D. Bechmann, **A survey of spatial deformation from a user-centered perspective**, *ACM Transactions on Graphics*, Volume 27, n° 4, octobre 2008
- P. Kraemer, L. Untereiner, T. Jund, S. They, D. Cazier, **CGoGN: N-dimensional Meshes with Combinatorial Maps**, *22nd International Meshing Roundtable*, Orlando, octobre 2013.
- H. Courtecuisse, J. Allard, P. Kerfriden, S. Bordas, S. Cotin, et al. **Real-time simulation of contact and cutting of heterogeneous soft-tissues**. *Medical Image Analysis*, 2014, 18 (2).
- Olga Sorkine and Marc Alexa. **As-rigid-as-possible surface modeling**. In Proceedings of the fifth Eurographics symposium on Geometry processing (SGP '07). 2007.
- Lucian Stanculescu, Raphaëlle Chaine, Marie-Paule Cani, Karan Singh. **Sculpting multi-dimensional nested structures**. *Computers and Graphics*, 2013.
- Leonardo Sacht, Etienne Vouga, and Alec Jacobson. 2015. **Nested cages**. *ACM Trans. Graph.* 34, 6, Article 170 (October 2015)