



埋め込み変形モデルの実時間多重化処理による 効率的な切断表現の提案

Efficient Cutting Simulation by Using
Real-Time Multiplexing of Embedded Deformation Models

藤北隆史¹⁾, 田川和義¹⁾²⁾
Takashi FUJIKITA, Kazuyoshi TAGAWA

- 1) 愛知工科大学 工学部 情報メディア学科 (〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2, {fujikita, tagawa}@tagawalab.org)
2) 立命館大学 総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1, 19v00710@gst.ritsume.ac.jp)

概要: 埋め込み変形モデルは粗いメッシュに細かなメッシュの特性を埋め込んで計算することで、効率化を図る手法である。しかし、枝分かれした物体を粗いメッシュで纏めると、複数の枝が纏まって運動してしまう。このため、多重化表現により回避する方法が提案されているが、枝分かれの情報は事前に与えられており、任意の切断操作には対応していなかった。そこで本研究では、切断の状況に応じて実時間多重化処理を行うことで任意の切断操作に対応する方法を提案し、試験的実装を行う。

キーワード: 埋め込み変形モデル, 多重解像度, 切断表現

1. はじめに

医療分野では、手術シミュレータを用いた修練医向けの手術手技訓練が注目を集めている。臓器は非一様柔軟物であり、複雑な構造や様々な力学特性を持つ組織で構成されている。この非一様性を考慮しながら変形シミュレーションを行うには、細かく分割したメッシュを用いる必要があるため、計算コストが高くなる。

このため、粗いメッシュに細かなメッシュの特性を埋め込んで計算する埋め込み変形モデルが提案されている。粗いメッシュを用いて計算することで計算コストの削減が可能となる[1]。しかし、枝分かれした物体を粗いメッシュで纏めると、複数の枝が纏まって運動してしまう問題がある。このため、多重化表現により回避する方法が提案されているが、枝分かれの情報は事前に与えられており、任意の切断操作には対応していなかった。

なお、これまで 3 種類の切断表現法が提案されている。1 つ目は切断面が通過する箇所にはノードを追加しメッシュを細かく分割する方法、2 つ目は切断面が通過する箇所のメッシュを削除する方法、3 つ目は切断面近傍のノードを切断面上に移動させて切断面を構成する方法[2]である。このうち、2 つ目の方法はメッシュが削除されることで体積が大きく減少する問題、3 つ目の方法は複雑な切断表現には多数の初期頂点が必要の問題がある。現実的な方法は

1 つ目の方法となるが、計算コスト増大への対応が課題である。

そこで本研究では、切断後のメッシュも埋め込み変形モデルを用いることで細かく分割することなく表現可能とする方法を提案する。具体的には、切断面が通過するメッシュの実時間多重化処理を行うとともに、変形計算で必要となる剛性行列の実時間更新処理を行う。

本稿では、上記の手法の詳細を述べた後に、試験的に実装した結果からその実行可能性と有効性を検証する。

2. 提案手法

2.1 埋め込み変形モデルの概要

埋め込み変形モデルとは、粗いメッシュに細かなメッシュの特性を埋め込み、粗いメッシュを用いて変形計算を行い、計算結果に基づき複雑なモデルを補間処理により変形させる近似法である。図 1 は埋め込み変形モデルの例で、格子状にメッシュがあるものが粗いメッシュで、緑のモデルが埋め込まれている。赤線は枝分かれしていることを示す。

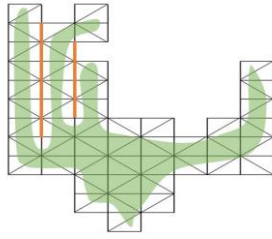


図1：埋め込み変形モデルの例

2.2 埋め込み変形モデルの切断処理

埋め込み変形モデルでは、できるだけ粗いモデルを用いることが望ましい。つまり、切断によって細かいメッシュが生成されることは避けなければならない。Nesmeらは、モデルの枝分かれした部分を多重化処理を行うことで、粗いメッシュのまま纏めても正しく運動することができた[1]。しかし、あらかじめ切断面が設定されており、任意の箇所での切断を行うことはできなかった。任意の箇所での切断を行うには、切断面が通過するメッシュに対しては実時間多重化処理を行えばよい。

さらに、切断されるメッシュの要素剛性行列 $K_{e_{old}}$ を元の全体剛性行列 K_{old} から除き、切断で分かれた二つのメッシュの要素剛性行列 $K_{e_{new1}}$, $K_{e_{new2}}$ を元の全体剛性行列に足すことで、最低限の更新にて新しい全体剛性行列 K_{new} が構築できる。 $f = K_{new}u$ を共役勾配法を用いて解くことで切断後の変形 u を求める。

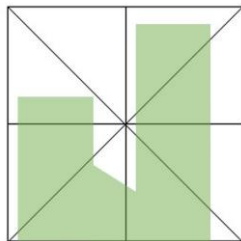
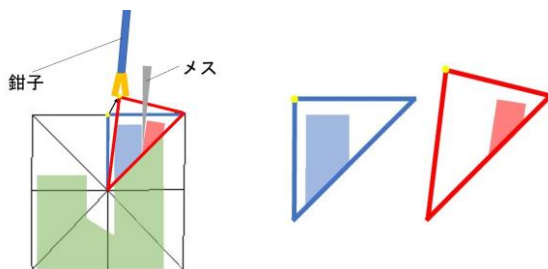


図2：切断前



(a) 多重化した切断モデル (b) 多重化した各メッシュに埋め込まれたモデル

図3：切断後

3. 実験

3.1 実験内容

埋め込み表現されたモデル(図2の緑色部分)に対して任意の箇所での切断するとともに、一部を上方に引っ張った際の変形を評価する。

3.2 実験結果

図3(a)は切断後、赤色部分を上方に引っ張った結果である。初期状態においては同じ位置に存在した黄色ノードおよび赤・青メッシュが多重化処理されている。赤色部分は多重化された赤色メッシュ(図3(b))に埋め込まれているため、これを上方に引っ張っても、隣接する青色部分(青色メッシュにうめこまれている)は変形せず、枝分かれを考慮した変形が表現できていることがわかる。

4. まとめ

多重化処理された埋め込み変形モデルでの任意の切断は可能であることがわかった。ただし、試験的な実装であるためノード数が少なく、複数回の切断に対する多重化処理の検証も必要である。3次元での実装も行う必要がある。

謝辞

本研究の一部は科研費 17H00754 の支援を受けた。

参考文献

- [1] M. Nesme, P. Kry, L. Jerabkova, and F. Faure: Preserving Topology and Elasticity for Embedded Deformable Models, ACM Transactions on Graphics, Vol.28, No.3, pp.52:1-52:9, 2009.
- [2] 中尾恵, 河本敏孝, 杉浦忠男, 湊小太郎: 弾性変形モデルに対する頂点数を保存した切開方法, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.4, pp.585-593, 2007.