干渉判定のための多重解像度メッシュモデル生成に関する研究

5U－06

伊達 宏昭，金井 理，岸浪 建史

北海道大学大学院工学研究科

1. はじめに

形状モデル間の干渉判定は，部品間の衝突検出やカリング等において必要不可欠な処理である．一方，三角形メッシュモデルの解像度制御手法が表示等の処理効率化のために多く提案されている[1]．このような解像度制御が可能な多重解像度メッシュモデルを干渉判定の対象とする形状モデルとして用いれば，従来の効率的な干渉判定手法[2]と組み合わせて利用することにより，干渉判定の精度や処理速度の連続的な制御，表示の簡略化手法との統合が容易となる利点が期待できる．しかし，干渉判定を目的としたメッシュモデルの解像度制御手法は提案されていない．

そこで，本研究では，多重解像度メッシュモデルを干渉判定用モデルとして用いるために要求される性質である，干渉の起こりにくい形状の凹部分を優先的に簡略化でき，かつ，干渉を過小評価しないように低解像度形状が高解像度形状を内部に包含する三角形メッシュモデルの新たな多重解像度表現生成手法を提案する．本研究の位置付けと役割を図 1 に示す．

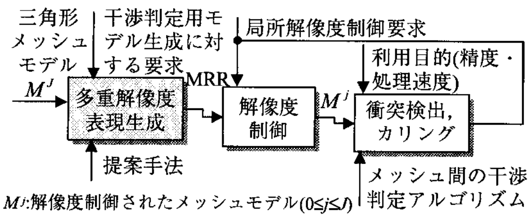
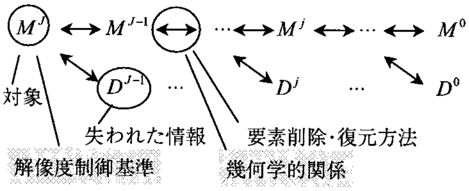


図 1　本研究の位置付けと役割

2. 三角形メッシュモデルの解像度制御

三角形メッシュモデルの多重解像度表現は，モデルの効率的表示，転送，圧縮を目的として多くの研究がなされている[1]．この表現においてオリジナルのメッシュモデル M^J は，図 2 に示すように，その近似 M^j と，近似の際に失われた情報 D^j へ階層的に分解され，要求に応じてその解像度を上げ下げできる．メッシュモデルの多重解像度表現化手法は，1)制御対象：解像度制御の対象は幾何要素のみか属性情報(色，テクスチャ座標等)を考慮するか，2)解像度制御基準：どのような評価量に従って要素の削除・復元の順序を決定するか，3)要素削除・復元方法：どのようにメッシュモデル内の要素を削除・復元するか，4)幾何学的関係：簡略化後の形状は元の形状に対しどのような幾何学的関係を持つか，5)失われた情報：簡略化により失われた情報は幾何学的又は定性的に何を意味するか，の 5 つの観点から分類できる．

次節では，干渉判定の為の多重解像度メッシュモデル生成に要求される，解像度制御基準，要素削除・復元方法，及び，幾何学的関係について述べる．



M^J: オリジナルメッシュ　M^0: 最粗メッシュ

図 2　メッシュモデルの解像度制御

3. 干渉判定用多重解像度メッシュモデル生成手法

2 節の観点に基づく，提案する干渉判定用多重解像度メッシュモデル生成手法の設定を以下に記す．

1) 制御対象：幾何
2) 解像度制御基準：形状の凹部分，かつ，簡略化による形状膨張が少ない部分の簡略化優先度が高い．
3) 要素削除・復元方法：Edge collapse，Vertex split[3]
4) 幾何学的関係：簡略化後の形状は元形状をその内部に包み込む(内包)．
5) 失われた情報：議論しない．

3.1 要素削除・復元方法

メッシュモデルの簡略化のための要素削除方法として，簡略化前後の形状間の幾何学的関係の制御が容易な Edge collapse[3]を用いる．Edge collapse は，図 3 に示す

A Study of Multiresolution Representation of a Triangular Mesh Model for Collision Detection
Hiroaki Date, Satoshi Kanai and Takeshi Kishinami
Hokkaido University, kita-13 nishi-8, kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8628, Japan

ようにメッシュモデルの稜線(i,j)を新頂点 k に縮退させる方法であり，その逆操作(Vertex split)も存在する．この方法は，簡略化前後の形状間の幾何学的関係の制御が，新要素(頂点 k)の位置決定問題として行える利点を持つ．

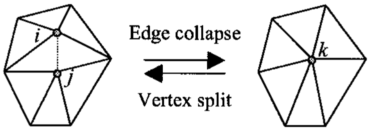


図3 Edge collapseとVertex split

3.2 解像度制御基準

干渉が起こりにくい凹部を優先的に，かつ，内包による干渉の過評価量の必要以上の増加を抑えるメッシュ簡略化が可能な解像度制御基準を，以下のように設定する．

メッシュモデル内の各頂点 i に対し，その隣接頂点 $j \in i^*$(i^*:i の隣接頂点集合)との凹凸の度合いを表現する評価量を，頂点 i に接続する面分の平均法線ベクトルを軸とし，頂点 i 及び j を通過する放物線の i における曲率κ_{ij}として算出する．i^*の全ての頂点に対しκ_{ij}を算出し，それらの平均曲率κ_iを頂点 i の凹凸評価量とする．

一方，内包を満たすエッジコラプスによる形状膨張の評価量として，図4に示す，稜線(i,j)の中点 k(位置：$\overline{\mathbf{p}}_k$)と面分$f \in F_r$(F_r：頂点 i,j に接続する面分集合)間の，頂点 i,j の平均法線ベクトル $\mathbf{n}_k$ 方向の符号付距離 d_{fk} を用いる．

$$d_{fk} = \frac{\mathbf{n}_k \cdot (\mathbf{p}_{f1} - \overline{\mathbf{p}}_k)}{\mathbf{n}_k \cdot \mathbf{n}_f} \quad (1)$$

ここで，$\mathbf{p}_{f1}$ は面分 f の任意の一頂点の位置，$\mathbf{n}_f$は面分 f の単位法線ベクトルである．F_r の全ての面分に対し d_{fk} を計算し，その最大値を d_k とする．d_k が負の場合は $d_k=0$ とし，得られた d_k を稜線(i,j)に対する形状膨張評価量とする．d_k が小さな稜線は，内包を満たすエッジコラプスによる形状膨張量が小さいことを意味する．

以上の凹凸評価量κ_iと形状膨張評価量 d_k より，d_k が最小，かつ，$\kappa_i+\kappa_j$ が最大の稜線(i,j)から，エッジコラプスによる簡略化を優先的に行う．

3.3 幾何学的関係

干渉を過小評価しないように，稜線(i,j)の縮退により生成される新頂点 k の位置 $\mathbf{p}_k$を，内包の性質を満たすように決定する．3.2 節で述べた形状膨張評価量 d_k は，稜線の縮退時に内包を満たすための頂点 k の稜線中点位置$\overline{\mathbf{p}}_k$ からの $\mathbf{n}_k$ 方向の修正量を表すため，内包を満たす頂点 k の位置 $\mathbf{p}_k$ は式(2)で決定する．

$$\mathbf{p}_k = \overline{\mathbf{p}}_k + d_k \mathbf{n}_k \quad (2)$$

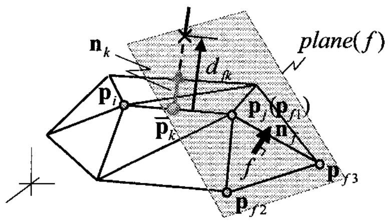


図4 形状膨張の評価

4. 適用結果

提案手法を，異なる2つのモデルに適用した結果を図5(a)(b)に示す．簡略化は凹凸評価量κ_iが全ての頂点において負(頂点は凸)になるまで行った．形状の凹部が優先的に簡略化されており，内包の性質が満たされていることが確認された．

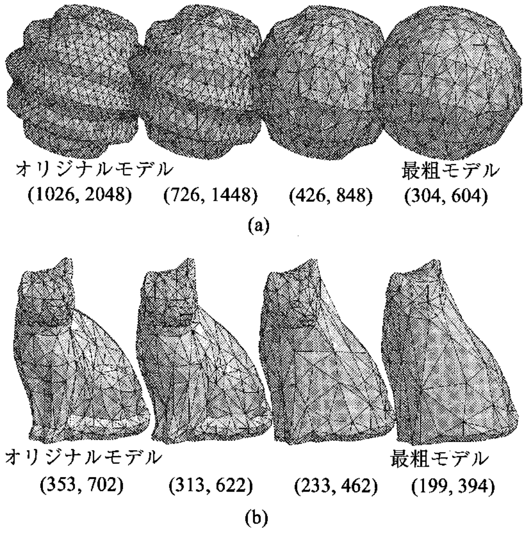


図5 提案手法の適用結果 (#v:頂点数，#f:面分数)

5. 終わりに

本報告では，効率的な干渉判定用の近似モデル生成の為の，内包の性質を持つ三角形メッシュモデルの新たな解像度制御手法を提案した．形状膨張の抑制の為の新頂点位置決定の再検討と，実際の干渉判定システムへの適用方法の検討と評価が課題である．

[参考文献]

[1] Jonathan D. Cohen, Concepts and Algorithms for Polygonal Simplification, SIGGRAPH2001 Course Tutorial (45), 2001

[2] 例えば，P. Francis et.al., Automatic Generation of Sphere Hierarchies from CAD Data, Proc. of International Conference on Robotics and Automation 1998

[3] H. Hoppe, Progressive Meshes, Computer Graphics (SIGGRAPH96), pp. 98-108, 1996