J-27

3角形メッシュの面積による3次元形状圧縮

3D surface compression utilize triangle mesh area

藤野　正明†　上野　義人†
Masaaki Fujino　Yoshito Ueno

1．はじめに

近年，コンピュータ上で3次元形状モデルを表現するという要求が様々な分野で高まってきている．

しかし，大規模なメッシュを持つモデルをコンピュータ上で表現すると高速に描画することが困難であり，伝送するに際し大容量の帯域を必要とする．

そこで，使用環境に適した3次元形状モデル表現として，モデルの詳細度を段階的に変える，詳細度レベル(level of detail, LOD) [3]が用いられている．

LODを実現する方法として，Hoppeらが提案するプログレッシブメッシュ(PM)法[1]と，Garland らが提案するQEM(Quadric Error Metric)法[2]という簡略化手法などがある．

今回，QEM法を基本とした，メッシュ簡略化手法に面積の大きさを重み付けし，3次元形状のメッシュ簡略化を行い，結果を視覚的特性とメッシュの削減率との関係について考察した．

2．メッシュの簡略化手法

メッシュの簡略化を行う方法に，エッジコラプス(edge-collapse，エッジ消去)と呼ばれる，局所的な頂点融合操作を行う方法がある．

この操作はあるエッジとその両端の頂点の隣接する一領域において，エッジを消去し，2つの頂点を結合して新たな頂点を生成する方法である．

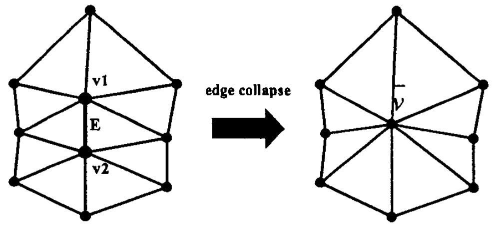

図1．エッジコラプス操作

図1より，頂点v1，v2で構成される，エッジEがある．この2つの頂点を統合して新たな頂点$\bar{v}$を生成することによりエッジEを消去することができ，メッシュを簡略化することができる．

†創価大学大学院工学研究科

3．QEMを用いた簡略化手法

3次元形状メッシュの簡略化手法に，各頂点における隣接面との距離の自乗和(QEM)を用いてエッジを消去する方法がある．

3.1　QEM法

面fを含む平面からの頂点vまでの自乗距離を面fに対するコスト関数$Q^f(v)$として以下の式(1)で定義できる．

$$Q^f(v) = (n^T v + d)^2 = v^T (nn^T) v + 2dn^T v + d \cdots (1)$$

ここでnは面fの法線ベクトルを表し，dは原点から面fを含む平面までの距離を表すスカラーである．

次に各頂点に対する，コスト関数$Q^v(v)$として式(2)を定義する．ここで，Aは3×3の対称行列，bは要素数3の列ベクトル，cはスカラーである．

$$Q^v(v) = v^T A v + 2b^T v + c \cdots (2)$$

これにより，各頂点に対する$Q^v(v)$を求めることができる．

$$Q^v = (A,b,c) = ((nn^T),(dn),d^2) \cdots (3)$$

以上のように$Q^v(v)$を定義できる．エッジコラプス操作の後に新たに挿入される頂点$v_{\min}$は，$Q^v(v)$の勾配$\nabla Q^v(v)$が0になる座標位置であると考えてよい．

したがって，エッジ消去後の頂点$v_{\min}$は，以下の線形式(4)を解くことによって得られる．

$$v_{\min} = A^{-1}(-b) \cdots (4)$$

3.2　QEM法のメッシュ簡略化アルゴリズム

QEMのメッシュ簡略化アルゴリズムは以下のステップで実行される．

①初期メッシュのすべての頂点vに対して，$Q^v = (\bar{A},\bar{b},\bar{c})$を計算する．

②オリジナルモデルメッシュのすべてのエッジ(v_1,v_2)に対し，エッジを消去したときの新しい頂点に対する位置$\bar{v}$を計算する．コスト関数$\bar{v}^T(Q^v(v_1)+Q^v(v_2))\bar{v}$がエッジに関するコストである．

③すべてのエッジのコストを最小コストを先頭とするヒープの中に昇順に格納する．

④コストの小さい順にエッジ消去$(v_1,v_2 \to \bar{v})$を実行し，

$Q^{v}(\bar{v})$を，$Q^{\nabla} = Q^{\nabla}(v_{1}) + Q^{\nabla}(v_{2})$とする．同時に$\bar{v}$を含むすべてのエッジを更新する．

⑤削除するメッシュの頂点数が指定された値以上に場合，③～④の操作を繰り返す．

このように，エッジコラプス操作によって新たに生成される頂点における$Q^{v}(\bar{v})$の値が以下の式(5)に示すような単純な線形和で表すことができる．このことが QEM を用いたメッシュ簡略化の大きな利点である．

$$Q^{v}(\bar{v}) = Q^{v}(v_{1}) + Q^{v}(v_{2}) \cdots (5)$$

図 2 はメッシュ簡略化操作前のオリジナル形状を示す．図 3 は QEM 操作後の形状を示す．丸で囲んだところは形状が急激に変化して滑らかさが失われている．

図 2．オリジナル形状(5800 メッシュ)

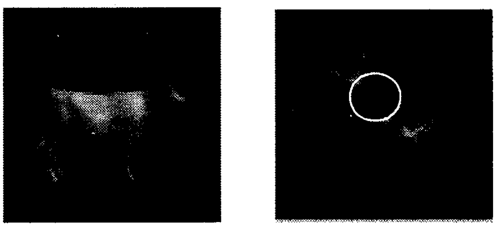

図 3．QEM 操作後の形状(3800 メッシュ)

4．面積の大きさで重み付けした QEM 法

面積の大きさを用いて行うメッシュ簡略化手法[4]があるが，今回 QEM 法に面積の大きさにより，重み付けを行うメッシュ簡略化手法を提案する．

QEM 法によるメッシュ簡略化は，元の頂点と新しく求められた頂点との誤差(コスト)が最小になる頂点を削除対象とする．

この場合，三次元形状の視覚的特性を考慮してメッシュ簡略化が行われていないため，滑らかさが失われる．

3 次元形状の視覚特性を考えて簡略化を行うと，どの大きさのメッシュを削除または保存するかによって形状の視覚特性が大きく変化する．

すなわち物体の大まかな部分は面積の大きなメッシュで構成されている．また，詳細部は面積の小さなメッシュで構成されている．

そこで，メッシュの面積の大きさ Sを式(5)で求められる$Q^{v}(\bar{v})$に$S \cdot Q^{v}(\bar{v})$とすることで，重み付けする．

この重み付け操作によって小さなメッシュに関してはヒープに格納される際，上位に格納され削除対象となる．逆に，大きなメッシュは下位に格納され保存される．

図 4 に面積の重み付けして行ったメッシュ簡略化操作したものを示す．丸で囲んだ部分が滑らかに表現されていることがわかる．尚，この時メッシュの削減率は 65％である．

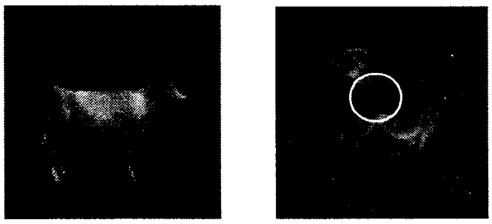

図 4．重み付けした QEM 操作後(3800 メッシュ)

5．おわりに

今回 QEM のアルゴリズムを基本とした三次元形状簡略化手法に面積の大小により重み付けすることにより，視覚特性において良好なメッシュ簡略化結果が得られた．

今後，より形状特性を残した視覚的に劣化の少なく．メッシュの削減率の大きい，また形状の境界領域形状について考えた三次元形状簡略化手法を研究していく．

参考文献

[1]H.Hoppe, T.DeRose, T.Ducharmp, H.jin, J.MacDonald and W.Stuetzle : “Mesh Optimization”, SIGGRAPH’93, pp.19-26

[2]M.Garland and P.S.Heckbert : “Surface Simplification Using Quadric Error Metrics”, SIGGRAPH’97, pp.209-216

[3]金井　崇 : “表現･編集･圧縮のための多重解像度表現技術”, IPSJ Magazine Vol.41 No.10 2000, pp.1108-1111

[4]狩野　仁美，藤村　真生，小堀　研一 : “面情報を用いた形状簡略化に関する一考察”，映像メディア学会誌 Vol. 56, No.2, pp307-314