

特徴抽出と稜線操作によるポリゴンメッシュの簡単化

3T-3

早野勝之 松岡司 植田健治

株式会社リコー ソフトウェア研究所

1 はじめに

ポリゴンメッシュの簡単化技術は、LOD 制御によるレンダリング処理の軽減などにおいて重要な役割を果たしている。メッシュ簡単化は、メッシュの品質と処理速度とのトレードオフであり、適用目的に応じてさまざまな手法が提案されてきた。

本研究では、三次元測定機などから得た点群をもとに生成された三角形メッシュを、メッシュの品質と処理速度の両方の条件を満たすように簡単化する手法を提案する。本手法では、形状特徴を局所的に抽出し、かつ周辺の特徴をもとに特徴を復元する操作を適用しながら簡単化するため、エネルギー最小化などのコストの高い計算を伴わずにメッシュの品質を保存することができる。また、ポリゴン稜線を削除する基本的な位相操作によって簡単化するため、ポリゴンを削除した部分の再メッシュ化の必要がないことも低コスト化に寄与している。

2 メッシュ簡単化方法

これまでにさまざまなメッシュ簡単化手法が提案されているが、エネルギー最小化計算や、非三角形領域の再分割を適用するため、コストの高い処理が必要であったり [1, 2]、逆に、高速処理ができて特徴が失われやすい方法であった [3]。本手法では、点群を頂点とするメッシュに対し、元形状の特徴の保存と処理速度の両方の条件をバランス良く満たすような簡単化を実現するために、次のような処理を行う。

1. 隣接するポリゴンのなす角度を評価して特徴稜線を抽出する。また、稜線交換操作を適用して特徴稜線列を延長する。
2. 特徴稜線の接続数および頂点における局所曲率を評価して、特徴頂点を抽出する。
3. 局所曲率最小の特徴頂点でない頂点に接続する稜線のうち、操作適用前後で最も形状の変化の少ない稜線を選び、稜線縮退化操作を適用してポリゴン数を削減する。

処理 1~3 を繰り返して、簡単化をおこなう。初期メッシュからの形状変化の大きさ、もしくは簡単化後のデータを条件として設定することができ、いずれかの条件を満たした時、簡単化を終了させる。処理 1,3 における

メッシュの位相変更には Hoppe の方法 [1] をベースにした、稜線交換操作および稜線縮退化操作を採用した。

本手法の特徴は、メッシュの大域的な特徴を表す連続した稜線列を得るために、すでに抽出されている特徴稜線列を稜線交換操作によって延長していることである。これによりコストの高い計算なしに効果的に形状特徴の抽出および保存ができる。また、稜線縮退化操作によってポリゴン数を削減するため、ポリゴンを削除した部分に非三角形領域は生成されず、メッシュ再分割の計算も不要である。

2.1 特徴稜線の抽出

着目した稜線の両側の面についての二面角を評価して特徴稜線を抽出する。二面角が指定した閾値以下の場合、特徴稜線と判定する。

次に、稜線交換操作 [1] によって特徴稜線列を延長する。

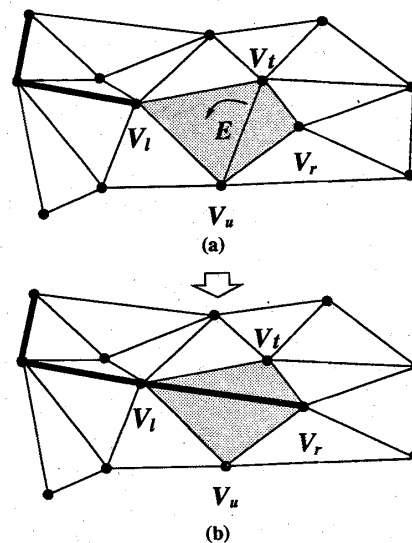


図1. 稜線交換操作による特徴稜線の延長

図1(a)において、太線の稜線は特徴稜線、 V_l は特徴稜線の途切れる個所にある頂点、 E は V_l に対向する稜線を表している。三角形 $\{V_l, V_r, V_l\}$ および $\{V_l, V_u, V_r\}$ について算出した二面角が閾値以下の場合、稜線 E に対して稜線交換操作を適用する。稜線交換操作は、図1(a)における稜線 $\{V_l, V_u\}$ を削除し、図1(b)のように稜線をはさむ2つのポリゴンについて向かい合う頂点を端点とする稜線 $\{V_l, V_r\}$ を生成する操作である。稜線交換によって生成された稜線も特徴稜線と判定する。 V_l が属する全ての面について以上の処理を適用する。

Mesh Simplification Using Character Detection and Edge Operation

Masayuki Hayano, Tsukasa Matsuoka, Kenji Ueda
Software Research Center, Ricoh Company, Ltd.

2.2 特徴頂点の抽出

頂点に接続する特徴稜線数が1か、もしくは3以上の場合、その頂点は形状のコーナー部分であると判断し、特徴頂点と判定する。特徴稜線数が0の頂点については、次式によって近似ガウス曲率を求め、特徴頂点抽出の基準とする。近似ガウス曲率 K は、曲面を近似した多面体の頂点における局所曲率の近似値である[4]。

$$K = \frac{2\pi - (\text{頂点に集まる面の隅の角度の総和})}{(\text{頂点に集まる面の面積の総和}) \times \frac{1}{3}}$$

K の絶対値が大きい頂点において、形状はより尖って(へこんで)いるといえる。 K の絶対値が閾値より大きい場合、特徴頂点と判定する。

2.3 稜線操作によるポリゴン削減

特徴頂点以外の頂点について、頂点に接続する稜線に対し、稜線縮退化操作を適用してポリゴン数を削減する。稜線縮退化操作は、図2のように稜線 V_i, V_u を端点 V_u に向かって縮退させることにより、1つの頂点と2つのポリゴンを削除する操作である[1]。

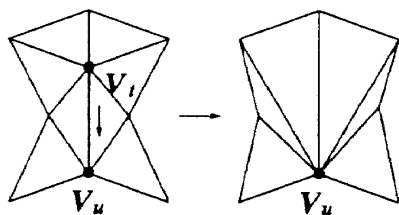


図2. 稜線縮退化操作

一般稜線の縮退化

特徴稜線以外の一般稜線は、以下の方法で縮退させる。特徴稜線の接続数が0で、かつ特徴頂点でない頂点には、近似ガウス曲率 K が設定されている。頂点における K の絶対値が小さいほど、その周辺で形状は滑らかで、周辺のポリゴンを削除しても形状の変化は小さいと考えられる。従って $|K|$ 最小の頂点に接続する稜線から順に縮退化の対象とする。また、 $|K|$ 最小の頂点に接続する稜線のうち、縮退化後に生成される面と削除される頂点との誤差距離が最小の稜線を選び、実際に縮退化操作を適用する。初期メッシュからの誤差距離が指定した値より大きくなる場合、縮退化操作は適用しない。これにより、初期メッシュから全体として一定の範囲内におさまるような単純化ができる。

特徴稜線の縮退化

特徴稜線は以下の方法で縮退化させる。特徴稜線の端点で、かつ特徴頂点でない頂点に、近似最小曲率 M を設定する。ここで M は、多面体の頂点における曲率が最小となる方向の曲率の近似値であり、頂点が2本の特徴稜線に共有されている場合にのみ定義される。このような頂点では、特徴稜線の接続する方向において曲率最小だと考えられるからである。ある頂点を、2本の特徴稜

線 E_l, E_r が共有しているとき、頂点における近似最小曲率 M を次のように定義する[4]。

$$M = \frac{\pi - (E_l \text{ と } E_r \text{ のなす角度})}{(E_l \text{ と } E_r \text{ の長さの合計}) \times \frac{1}{2}}$$

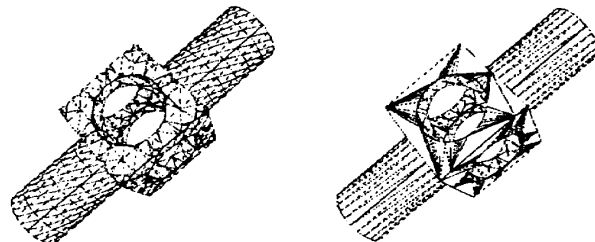
$|M|$ 最小の頂点に接続する2本の特徴稜線のうち、形状変化の少ない方の特徴稜線に対して稜線縮退化を適用し、ポリゴン数を削減する。一般稜線の縮退化と同様に、初期メッシュからの誤差距離が指定した値より大きくなる場合は、縮退化操作を適用しない。以上の操作を $|M|$ 最小の頂点について繰り返す。

2.4 単純化の終了条件

初期メッシュの頂点からの誤差距離、もしくは単純化後のポリゴン数のいずれかを条件として指定しておく。条件を満たす限り形状特徴の抽出およびポリゴン削減を繰り返す。

3 結果とまとめ

図3(b)は(a)のポリゴン数2028の初期メッシュを、本手法によってポリゴン数850まで単純化した結果である。所要時間は203秒であった。



(a) 適用前

(b) 適用後

図3. 単純化適用結果

本報告では、点群から生成されたポリゴンメッシュを、元の形状の特徴をよく保存し、かつ低コストに単純化する手法を提案した。今後の課題としては、必要に応じて部分的にメッシュを詳細化できるよう拡張することが考えられる。

参考文献

- [1] H.Hoppe, Progressive Meshes, Proc. ACM SIGGRAPH '96, pp.99-108, 1996.
- [2] P.Veron, J.C.Lenon, Static polyhedron simplification using error measurements, Comput. Aided Des., 29, 4, pp.287-298, 1997.
- [3] J.Rossignac, P.Borrel, Multi-resolution 3D approximation for rendering complex scenes, Modeling in Computer Graphics, Springer, pp.455-466, 1993.
- [4] C.R.Calladine, Gaussian curvature and shell structures, The Mathematics of Surfaces, Oxford University Press, pp.179-196, 1986.