

特徴稜線部の曲率を考慮した大規模点群への高精度細分割曲面フィッティング

北海道大学 ○遠藤 維, 伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史

要 旨

従来, 細分割曲面を用いたリバースエンジニアリングの対象は CG 用のモデル作成を前提としたため, 複雑な製品のデザインモデルの高密度測定点群に対して安定かつ高精度に曲面にフィットできなかった. 本研究では, 曲率評価に基づくフィレット等の特徴保存, Quasi-Interpolation を用いてこの問題を解決し, 高密度測定点群にフィットする Loop 細分割曲面を生成する新手法を提案する.

1 はじめに

リバースエンジニアリング (以下 RE) とは, デザインモックアップなどを測定し, 得られた測定点群にフィットする曲面モデルを作る手法である. 従来, RE におけるフィッティング曲面モデルとして, ポリゴン曲面近似モデルや四辺形パラメトリック曲面などが用いられてきたが, これらは近似精度や曲面接続性などの問題点がある. その解決手法として, 細分割曲面を測定点群に対するフィッティングモデルとして利用する研究がいくつかなされている[1]. しかしこれらは, 複雑な形状・位相構造をもつ工業製品の高密度測定点群に対する高精度かつロバストなフィッティング能力に問題を有している. その解決のため, 本研究では前報[2]で非一様細分割を用いた細分割曲面 RE 手法を提案したが, 特徴稜線部においてフィッティング精度を上げるための処理が手作業で煩雑であるという問題があった.

そこで本報では, 曲率評価によって点群のもつ特徴領域を抽出し, 特徴稜線部に対しても高精度かつ自動的にフィットできる Loop 細分割曲面の初期制御メッシュを高速に生成する RE 手法の提案を目的とする.

2 リバースエンジニアリングアルゴリズム

2.1 アルゴリズム概要

提案するリバースエンジニアリングアルゴリズムの概要を図 1 に示す. 本手法は, ボクセルモデルを利用した高密度メッシュの生成(A-1), 頂点曲率評価に基づく特徴領域境界稜線の抽出(A-2), 初期制御メッシュシードの生成(A-3), Quasi-Interpolation (準補間; 以下 QI) による初期制御メッシュ (以下 ICM) の幾何改良(A-4)からなる. 以下に, その詳細を述べる.

2.2 高密度メッシュの生成

複雑形状の測定点群に対し, 細分割曲面を高精度にフィッティングさせるには, 点群が表す形状の位相構造 (穴の有無), 幾何特徴 (フィレットなど) を良く反映し, かつ少ない頂点数の ICM シード (ICM 推定形状) を安定に生成することが必要である. 本手法では, まず点群の特徴を捉えるため, 前報[2]で述べた以下の処理によって高密度メッシュを生成する.

- i) 入力となる高密度測定点群 U をボクセル空間内に配置し, 各ボクセルの U に対する内外判定をおこない, 得られた各ボクセルの格子点属性値パターンに基づき, Marching Cubes 法[3]を適用し, 点群の位相形状を正しくとらえたボリュームベースメッシュ M_0 を生成する.
- ii) Shrink Wrapping 法[4]で用いられているメッシュの点群への直接投影によって, M_0 を点群に高精度フィッ

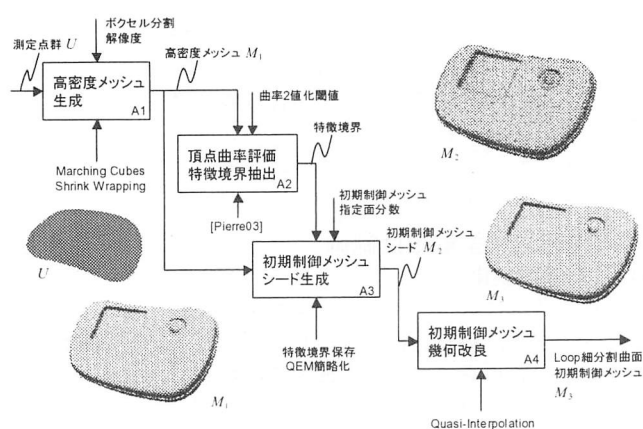


図 1 細分割曲面 RE アルゴリズム概要

トさせた高密度メッシュ M_1 を生成する.

2.3 頂点曲率評価に基づく特徴領域境界稜線抽出

2.4 節でおこなう M_1 の簡略化で用いられる, 特徴領域の境界稜線 (以下, 特徴境界) を抽出する. 特徴領域とは, 高密度メッシュに存在する微小なフィレット部分などのマイクロな幾何特徴を指す. 以下の方法で特徴境界を抽出する.

- i) Pierre ら[5]が用いている曲率評価手法によって, M_1 の各頂点 v の曲率最大値 $\kappa(v)$ を求める.
- ii) $\kappa(v)$ をしきい値処理し, 各頂点に属性値を設定する. $\kappa(v)$ がしきい値より大きければ属性値 1, 小さければ 0 とする.
- iii) 1 近傍の頂点がすべて属性値 1 である頂点は, その属性値を 0 に変更する.
- iv) 両端頂点の属性値が共に 1 の稜線を特徴境界とする.

2.4 初期制御メッシュシード生成

2.3 節で得られた各頂点の属性値および特徴境界をもとに, QEM を用いた稜線コラプス簡略化を M_1 に対して指定面分数になるまで図 2 (●: 属性値 1, ○: 属性値 0) のようにおこない, これを初期制御メッシュシード M_2 とする. この手法を用いれば, 簡略化しても特徴境界が保存されるため, 従来の QEM 簡略化[6]から得られる細分割曲面に比べ, 細部の幾何形状に対するフィッティング精度が向上する (図 3).

2.5 初期制御メッシュの幾何改良

M_2 を ICM として Loop 細分割を行うと, 極限曲面は測定点群を通過しない. そこで, 準補間(QI) [7]を用いて細分割極限点が M_2 の頂点に一致するように M_2 の頂点

位置を修正する。QI は、ICM 上の頂点及びその 1 近傍頂点群に対応する細分割極限点群からの局所的な計算式により、高速に ICM の頂点位置を細分割極限点から逆算可能であり、メッシュ M_2 の各頂点 v の位置 \mathbf{v} について式(1)によって定義される。

$$\mathbf{v} \leftarrow (1-k\gamma)\mathbf{v} + \gamma \sum_{j=1}^k \mathbf{v}_j \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{v}_j (j=1, \dots, k)$ は M_2 における v の 1 近傍頂点の位置、 k は v の価数、 $\gamma = -1/(2k)$ である。

M_2 に対して QI を適用したものを Loop 細分割曲面の初期制御メッシュ M_3 とし、これを本アルゴリズムの出力とする。

3 実行結果

IT 機器筐体のデザインモックアップから得られた測定点群に対する、本手法による Loop 細分割曲面フィッティング結果を図 4 に示す。極限曲面において、特徴稜線周辺の微小フィレット面が正しく再現されていることが分かる。全点群とこの極限曲面との正規化誤差は、最大誤差 0.7%、平均誤差 0.04% であった。

また、Turbine Blade の測定点群に対し、本手法を適用した結果を図 5 に示す。本例では、最大誤差 2.3%、平均誤差 0.2% であった。内部に複雑な穴の構造をもつ形状に対しても細分割曲面への高精度フィッティングが行われていることが分かる。なお、処理時間は 3GHz Dual CPU、2GB RAM の計算機において、図 4、5 ともに 5 分以内に完了した。

4 おわりに

穴や特徴線を含む複雑形状の高密度測定点群に対し、適切な位相構造をもつ初期制御メッシュを推定し、高精度かつ高速な Loop 細分割曲面へのフィッティングが可能な手法を提案した。また、実用規模の複雑形状モデルの高密度測定点群に本手法を適用し、有効性を確認した。

参考文献

- [1] 例えば, H.Hoppe et al: Piecewise smooth surface reconstruction, SIGGRAPH'94, pp295-302 (1994).
- [2] 遠藤 維 他. 細分割曲面を用いたリバースエンジニアリングの研究--Quasi-Interpolation と多重制御点挿入に基づく高密度点群への Loop 細分割曲面フィッティング手法--, 第 11 回精密工学会 学生会員卒業研究発表講演会論文集 O-08 (2004).
- [3] W.E.Lorensen et al: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm, SIGGRAPH'87, pp163-169 (1987).
- [4] L.Kobbelt et al: A shrink wrapping approach to remeshing polygonal surfaces, EuroGraphics, 18(3), pp119-130 (1999).
- [5] Pierre Alliez et al: Anisotropic Polygonal Remeshing. SIGGRAPH 2003, pp485-493 (2003).
- [6] M.Garland et al: Surface simplification using quadric error metrics, SIGGRAPH'92, pp209-216 (1992).
- [7] A.Levin et al: Trimming for subdivision surfaces, proc. of CAGD'01, 18(5), pp463-481 (2001).

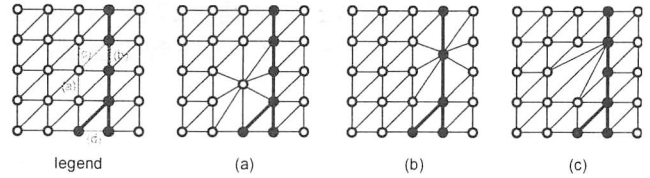


図 2 頂点属性値および特徴境界に基づく稜線コラプスパターン。なお、(d)のパターンの稜線はコラプスしない。

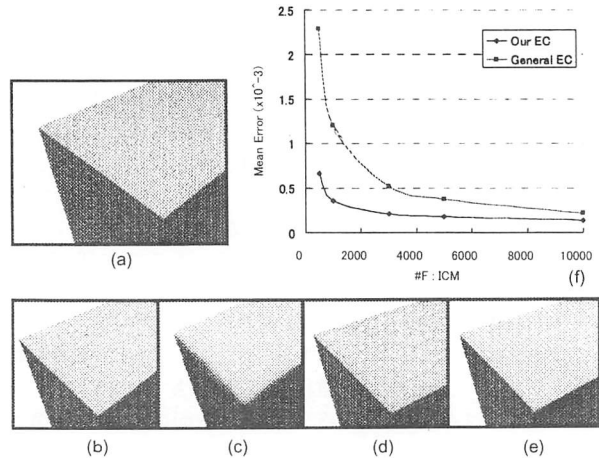


図 3 特徴境界保存を用いた QEM 簡略化の効果。(a) 高密度メッシュ(40960 面), (b) 従来の QEM 簡略化, (c) (b)+QI の細分割極限曲面, (d) 本手法による簡略化, (e) (d)+QI の細分割極限曲面, (f) 本手法と従来手法の簡略化をそれぞれ用いた場合の細分割極限曲面と点群との正規化平均誤差の比較グラフ。

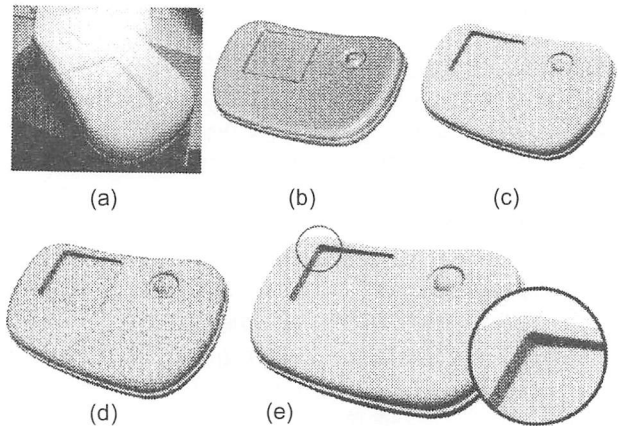


図 4 デザインモック(a)に対するフィッティング結果。(b) 測定点群(1065050 点), (c) 高密度メッシュ(697920 面), (d) 初期制御メッシュ(5000 面), (e) 細分割極限曲面。

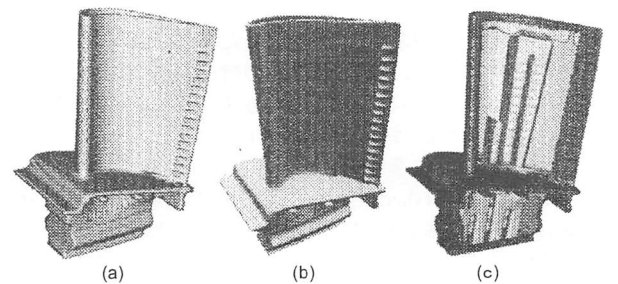


図 5 Turbine Blade に対するフィッティング結果。(a) 測定点群(3531036 点), (b) 細分割極限曲面(ICM:10000 面), (c) (b)の断面図。