

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560139

研究課題名（和文） 三角形メッシュによる高品質意匠形状設計

研究課題名（英文） High-quality styling design with a triangle mesh

研究代表者

東 正毅 (HIGASHI MASATAKE)

豊田工業大学・工学部・教授

研究者番号：70189752

研究成果の概要（和文）：意匠設計システムでは主に四辺形にテンソル積曲面が用いられているが、曲面間の接続が困難である。そこで、任意位相を表現できる三角形メッシュによる細分割曲面を用いて、高品質に意匠形状を表現する手法を開発した。測定データに対して、単位化離散ラプラシアンを用いた異方性平滑化手法、高品質かつ効率的に制御メッシュを当てはめる簡易ニュートン法、および、境界での横断2階微分ベクトルを推定することにより延長メッシュを定め横断方向の曲率を指定する方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：In style design system, tensor-product quadrilateral surfaces are used but it is difficult to connect them each other at arbitrary boundaries. Hence we have developed methods to represent free-form shapes with high-quality by a subdivision surface composed of a triangle mesh. We have proposed a method of anisotropic smoothing for measured data by using normalized discrete Laplacian, and a simplified Newton method for fitting a mesh with high quality and efficiently along with a method for determining boundary condition at sharp features to represent cross boundary curvature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：形状・製品モデリング

科研費の分科・細目：機械工学，設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：三角形メッシュ，平滑化，細分割曲面，フィッティング，境界条件，意匠設計

1. 研究開始当初の背景

現在、CADシステムは意匠設計の分野でも広く実用化されている。しかしながら、実用化されているのは、形状が確定してから計算機の内部モデルを作成するものであり、意匠設計の初期段階でアイデアを創出するために自由に形状を作り出す作業の支援は不十分である。また、クレイモデルなどの立体モ

デルで造形した結果を計算機内に取り込みCADモデルとすることは、測定技術やレーザ測定機の進展により、リバースエンジニアリング技術として実用化されてきているが、金型を製作することを考えた品質は不十分である。

以上の理由として考えられることの一つは、意匠設計は創造性が必要な作業であり、

現在のCADシステムでは機能が不十分であることである。新しいものを作り出すための支援としては、分類・検索作業、組合せ・融合作業、形状変形作業などが、データベース機能、ニューラルネットワークや遺伝子アルゴリズムなどを利用して進められているが、未だ研究段階である。もう一つの理由は、形状を表す柔軟な曲面表現式が確立されていないことである。曲面式としては、ベジエ、B-スプラインなどの四辺形を対象としたテンソル積形式の表現式が用いられているが、美的意匠曲面として高品質なものを実現するには、申請者らが提案した縮閉線を用いた曲面表現式の様に曲率変化を制御できる式が必要であり、実用システムでは様々な工夫で表現している。また、表現式が四辺形曲面を対象とするため、複雑形状を生成するには、境界で曲線により曲面をトリムしたり複数の曲面を接続する必要があり、境界線の式と両側の曲面の間に誤差管理の問題が生じ、かつ、複合形状の制御が困難となる。

本研究では、後者の問題を解決することを目指す。近年、自由な境界形状に対応した表現形式として三角形メッシュによる細分割曲面が注目されている。この表現法は、コンピュータグラフィックスの分野で、アニメーションのキャラクタなどを対象として利用されて来ており、工業製品への適用が検討されている。細分割曲面は曲面間の接続を意識することなく複雑な形状を表すことができるという利点があり、現在、盛んに用いられているが、曲率変化を考慮した高品質な曲面を生成するところまでは実現できていない。

以上の観点から、申請者らはこれまでに、三角形スプライン式についての学習と一般的な三角形メッシュを対象とした平滑化や接続制御について研究を進めている。この中で、従来の三角形スプラインの基礎であるボックススプラインの難解な理論が意味するところを、6組の接続した三角形群の和として幾何的に捉えるができた。したがって、三角形メッシュの任意形状を表すことができる柔軟な形状表現力と、三角形スプライン式の簡潔性と制御性を組み合わせてやれば、複雑な形状に対して品質と制御性の両者を同時に満足させることができると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、三角形メッシュによる曲面表現法を確立し、これを意匠形状や機械部品などの設計で利用するための手法を開発することである。具体的には、以下に述べる研究課題を解決し、新たな手法を開発する。

- (1) 測定データからの高品質曲面としての平滑化（セグメンテーションと平滑化法）
- (2) 三角形メッシュでの任意稜線に対する接続性の制御と境界条件の設定
- (3) セグメンテーションされた領域への曲面式の当てはめと境界線の表現
- (4) 意匠曲面のパラメトリック設計への三角形メッシュ表現の適用

3. 研究の方法

研究目的で述べた研究課題に分けて研究を進める。研究代表者および研究分担者、連携研究者は、従来行ってきた研究に対応した専門分野を主担当者として担当し、適宜、関連する者が共同で研究を実施する。

東は、従来、縮閉線に基づく高品質曲面の表現法、曲面形状の変形、メッシュの平滑化を研究してきたので、全体総括および接続制御を主に担当する。大家は、最近メッシュに対する平滑化やパラメトリック設計を研究しており、平滑化やセグメンテーションを主に担当とする。小林は、これまで設計最適化を研究してきており、曲面の当てはめに関して目的関数等を設定して課題に取り組むことができる。

曲面形状のパラメトリック設計については、要素技術である研究課題が完成した後、全員で取り組む。また、この他に、大学院生を各テーマ1名程度ずつ研究協力者として割り当てる。

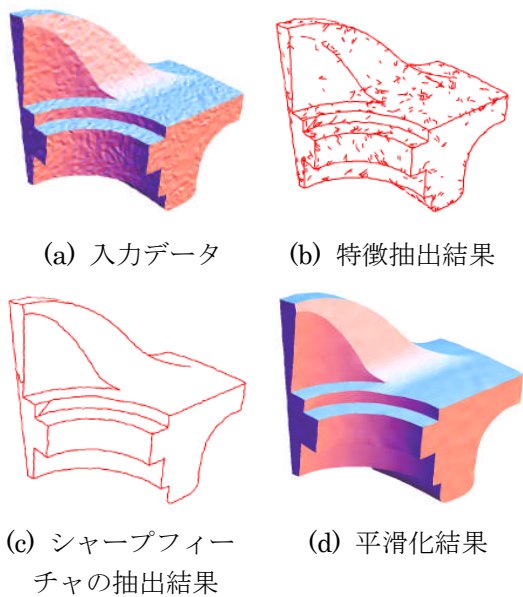
4. 研究成果

前述の研究目的を達成するため、以下の手法の開発を行った。

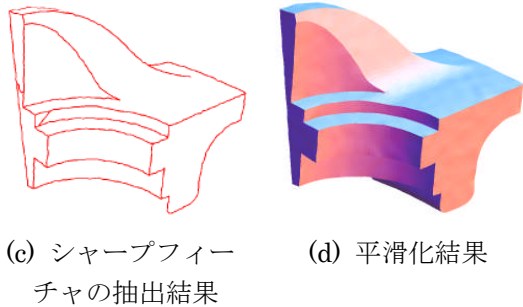
(1) 測定データの平滑化

今まで開発してきた単位化ラプラシアンによる異方性平滑化手法を、大きな誤差が含まれる場合に拡張した。2階ラプラシアンによる平滑度係数を用いて抽出された特徴点からグラフを作成し、短い稜線、ひげ状やループ状の稜線などを取り除き、さらに、途切れた部分を補完することで、ノイズを除去したシャープフィーチャを抽出する。これらを重み付けして異方性平滑化を行うことで、誤差が大きい場合にも滑らかな曲面を得ることができた。

図1は、このファンディスクへの適用結果である。(a)は大きな誤差を持った入力データであり、(b)は特徴抽出結果、(c)はグラフ処理によりシャープフィーチャを抽出した結果、(d)はこれを異方性平滑化に適用した結果ある。

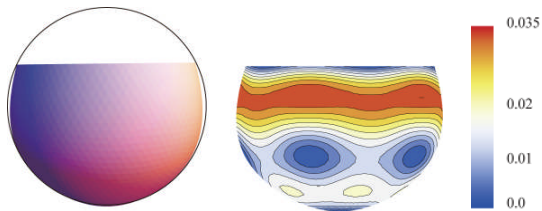


(a) 入力データ (b) 特徴抽出結果

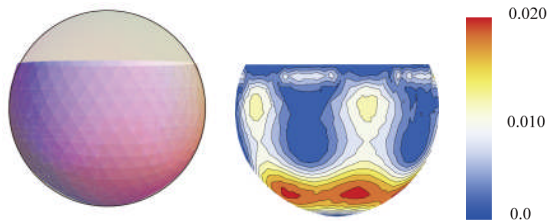


(c) シャープフィーチャの抽出結果 (d) 平滑化結果

図 1. 特徴抽出による異方性平滑化



(a) Fitting error by Hoppe's rule



(b) Fitting error by our method

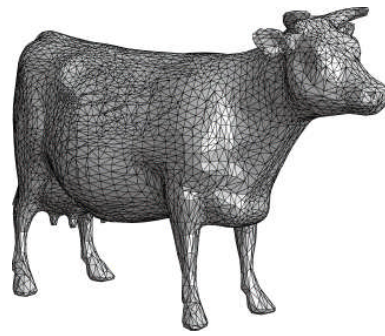
図 2. 境界条件の指定

(2) 接続性の制御と境界条件の設定

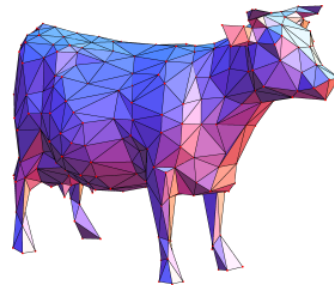
任意稜線や境界線での接続制御では、稜線の反対側に延長メッシュを考慮して、フィーチャにおける細分割ルールから極限点位置を計算する様にした。これにより、シャープフィーチャでの接平面方向や曲率が制御できるようになった。

シャープフィーチャを横切る方向の曲率変化が滑らかな曲面が得るために、境界での2階微分ベクトルを推定し、これを用いて境界上での制御頂点を定め、メッシュの内部の制御頂点を求める方法を考案した。また、境界曲線が指定した曲線となるような細分割規則を導いた。

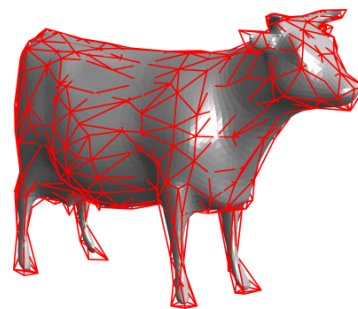
図2は、正20面体の上部5面をカットした15面体を境界条件を用いて当てはめた例である。(a)は従来使用されている



(a) Input mesh



(b) Control mesh



(c) Approximated surface

図 3. 細分割曲面の当てはめ(近似)

Hoppeの方法であり、(b)は境界での2階微分ベクトルを推定して、これに基づいて制御頂点を求めたものである。(a)では境界で面が平坦になり、球から大きくずれているが、我々の方法を適用した(b)では、境界は完全に指定した円弧となり、底部では正20面体と同様な丸みの誤差が現れている。

(3) 細分割曲面式のあてはめ

曲面式へのあてはめでは、最初に入力点と同数の制御頂点となる場合：細分割曲面のフィッティング法を開発した。一近傍の頂点での誤差から対象頂点の位置を収束計算で求める。各頂点の係数は価数に対応した定数となり、効率よく安定に収束する。

次に、この手法を、大量データを少ない制御点数で表現する近似計算に適用する簡易ニュートン法を提案した。入力点での誤差とパラメータの重み関数値を制御点ごとのグループとして計算することにより、個々のパラメ

ータ値の値から係数を計算しなくても、定数として扱うことが出来るようになり、効率化が図れた。手順としては、まず、QEM (Quad-ric Error Metrics)を用いて簡略化し、この初期メッシュに対して、収束計算を行う。

図3はこの適用例である。(a)は入力メッシュ、(b)は制御メッシュ、(c)は求めた細分割曲面である。2,904点の入力に対して、502点の制御頂点で表現されている。9回の繰り返し回数で解が求まっている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① Masatake Higashi, Shinji Seo, Masakazu Kobayashi, Tetsuo Oya, Boundary Conditions for High-Quality Loop Subdivision surfaces, *Computer-Aided Design and Applications*, 査読有, **8**, in print.
- ② Masatake Higashi, Daisuke Mori, Shinji Seo and Masakazu Kobayashi, Efficient Fitting of Subdivision Surfaces by Simplified Newton Method, *Computer-Aided Design and Applications*, 査読有, **7** (6), 2010, 821-834.
- ③ Masatake Higashi, Tetsuo Oya, Tetsuro Sugiura, and Masakazu Kobayashi, Feature-Preserving Anisotropic Smoothing for Meshes with Large-Scale Noise, *Computer-Aided Design and Applications*, 査読有, **6** (3), 2009, 365-374.
- ④ 大家哲朗, 三上武史, 金子孝信, 東 正毅, 意匠形状のためのパラメトリック設計手法, 精密工学会誌, 査読有, **75** (5), 2009, 663-668.
- ⑤ Tetsuo Oya, Hiroshi Kato, Masatake Higashi, Parametric Design for Aesthetic Shapes by Curve-Ruler Utilization, 査読有, Proc. ASME 2008 IDETC & CIE, DETC, 2008, 1-10.
- ⑥ Tetsuo Oya, Shinji Seo, Masatake Higashi, Generating Sharp Features on Non-regular Triangular Meshes, Computational Science ICCS2008, Springer LNCS 5102, 査読有, 2008, 66-75.

[学会発表] (計13件)

- ① Masatake Higashi, Fitting Subdivision Surfaces by Simplified Newton Method, 2010 ASIAN CONFERENCE ON DESIGN AND DIGITAL ENGINEERING, 2010.8.26.
- ② Masatake Higashi, Cross Boundary Derivative for Fitting Loop Subdivision Surface, Seventh International Conference on Curves and Surfaces, 2010.6.28, Avignon, France.
- ③ Masatake Higashi, Detecting and Preserving Sharp Features in Anisotropic Smoothing for Noised Mesh, Seventh International Conference on Mathematical Methods for Curves and Surfaces, 2008.7.1, Tonsberg, Norway.

[図書] (計1件)

- ① 東 正毅, 他18名, 海文堂出版, デジタルスタイルデザイン, 2008年12月, 92-103.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東 正毅 (HIGASHI MASATAKE)
豊田工業大学・工学部・教授
研究者番号: 70189752

(2) 研究分担者

小林 正和 (KOBAYASHI MASAKAZU)
豊田工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 40409652

(3) 連携研究者

大家 哲朗 (OYA TETSUO)
慶應義塾大学・理工学部・専任講師
研究者番号: 10410846