

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560127

研究課題名(和文) 幾何処理による点群の位置並びに法線ベクトルのフィッティング

研究課題名(英文) Fitting point clouds with normal vectors by geometric algorithm

研究代表者

前川 卓 ( MAEKAWA TAKASHI )

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：70361863

**研究成果の概要(和文)：**曲線・曲面を生成する方法として、点群の位置情報からB-spline曲線を補間・近似する方法がよく使われるが、各点における法線情報を付加することによって設計の自由度を上げたり、オフセット曲線・曲面の近似の精度を向上させることも可能である。本研究では、位置情報と法線情報が与えられた点群を簡単な幾何処理に基づいてB-spline 曲線・曲面でフィッティングする新しい方法を開発し、その有効性を示した。

**研究成果の概要(英文)：**Interpolation is one of the most typical problems that arise in the application of B-spline curves and surfaces. In this research we are interested in not only interpolating a set of points, but also normal vectors given at these points by the B-spline curves and surfaces. Applications of point-normal fitting include enhancement in the free-form curve design by adding the normal control, and accurate approximation of offset curves/surfaces. Our method relies on a surprisingly simple geometric algorithm which iteratively updates the input control points in a global manner based on local point-curve/surface distance computations, imposition of orthogonality conditions of the normal vector, and offsetting procedures. Examples are provided to demonstrate the effectiveness of the proposed algorithms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：形状処理工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライポロジー

キーワード：形状モデリング、CAE・CAD

### 1. 研究開始当初の背景

近年、三次元レーザースキャナの発達により、物体形状を高精度に測定することが可能となった。三次元モデリングの分野においてもこの装置は積極的に用いられており、デザイナーが作成したモックアップモデルを計測し、コンピュータに取り込んだ点群から、ポリゴン

データやCADデータを作成するという、いわゆる形状のリバース・エンジニアリングが盛んに行われている。実物体から再構築されたコンピュータモデルは、CAD/CAMやCGで培われてきたさまざまな技術を楽しむことができるため、その用途は急速に拡大しつつある。また近年のアニメーションの高品質化やインターネットの

三次元コンテンツの普及などにともない、点群から高速にかつ高品質な曲面をフィッティングする技術への要求が高まっている。

点群から曲面をフィッティングする技術には、すべての点を通る曲線・曲面を生成する補間(interpolation)と、点群の近くを通る曲線・曲面を生成する近似(approximation)がある。フィッティング技術は、NURBSを中心にまた最近では、細分割曲面においても多くの研究がなされている。しかし、基底関数にパラメータを割り当てるパラメータ化を未知の曲面に対して行わねばならず生成される曲面には、歪みが生じ易い等の問題がある。

平成16年から18年の基盤研究(C)に採用された「ポリゴンメッシュで形成された3次元ソリッドモデルの電子指紋に関する研究」の研究において細分割曲面の曲率を見積もる際に、線形システムを解かず単純な幾何処理により点群を補間して曲面を生成する方法を副次的に編み出した。B-spline曲線の幾何処理による補間を例にすると、第一ステップとして曲線状に与えられた点群を制御ポリゴンとみなし、この制御ポリゴンによって定義されるB-spline曲線と点群との最短距離を求める。第二ステップとして入力された制御ポリゴンをこの距離ベクトルだけオフセットすることにより、新たな制御ポリゴンを求める。これら2つのステップを繰り返すことによって点群を補間するB-spline曲線を生成することができる。

さらに、点群の各点における法線が分かっている場合、法線情報を付加することによって設計の自由度を上げたり、オフセット曲線・曲面の近似の精度を向上させることが可能である。

## 2. 研究の目的

本研究では、幾何処理による補間法を近似法に拡張し、また細分割曲面からB-spline等のそのほかの表現方法への転換、そして収束に関する数学的な証明を完成させる。さらには位置情報と法線情報が与えられた点群を幾何処理に基づいて補間・近似する方法を体系的に構築し、収束に関する数学的な証明を加え、曲線・曲面のデザインの自由度をあげることで、またoffset曲線・曲面に適用しその品質の向上をはかることを研究目的とする。

## 3. 研究の方法

研究内容として、(1)幾何処理による点群のフィッティング、(2)点群の位置と法線情報を含むフィッティング、(3)実際のデザイン、offset問題への(1)と(2)の適用に分けて実施する。

### (1) 幾何処理による点群のフィッティング

①幾何処理に基づく補間法が何故収束するのかを一般的な条件下において数学的に証明する。

②幾何処理に基づく細分割曲面の補間手法を細分割曲面の近似に拡張する。

③幾何処理に基づくB-spline曲線・曲面の点群の補間手法をB-spline曲線・曲面の近似法に拡張する。

④計算の高速化を図る。

### (2) 位置情報と法線情報が与えられた点群の幾何処理によるフィッティング

①位置情報と法線情報が与えられた点群の幾何処理に基づく補間法が何故収束するのかを一般的な条件下において数学的に証明する。

②位置情報と法線情報が与えられた点群の幾何処理に基づくB-spline平面曲線の補間手法を空間曲線として曲面に拡張する。

③位置情報と法線情報が与えられた点群の幾何処理に基づくB-spline曲線・曲面の補間手法をB-spline曲線・曲面の近似法に拡張する。

④計算の高速化を図る。

### (3) 応用例

上記1)と2)の実施例としてデザインに関連する問題、Offset曲線に関する問題等に適用し、本手法の利点と問題点を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 幾何処理による点群のフィッティング

点群のB-spline曲線・曲面、Catmull-Clark並びにLoopの細分割曲面の補間・近似のアルゴリズムを確立した。これらのすべてアルゴリズムに共通する利点として以下の6点が挙げられる。

①実装が従来法と比較して容易である。

②従来法には困難なローカルコントロールを容易に行うことができる。図1(a), (b)にファンモデルにローカルコントロールを適用した際の適用前と適用後の誤差マップを示す。この図からローカルコントロールの効果は明らかである。

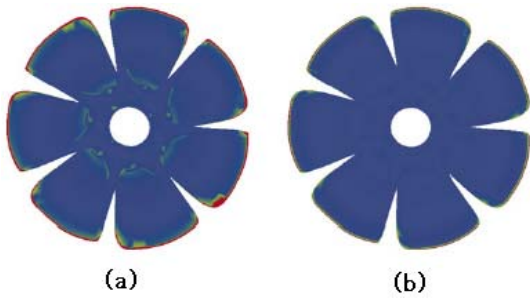


図1 ローカルコントロール

- ③ 数回の繰り返し計算により粗いフィットを得ることができる。図2にYNUの筆記体の点群モデル(黒丸)の補間の際の繰り返し計算4回目の制御点(白丸)と点群をおおよそ補間している3次B-spline曲線を示す。さらに繰り返し計算を続けることにより、図3に示すように精度の高い補間も可能である。

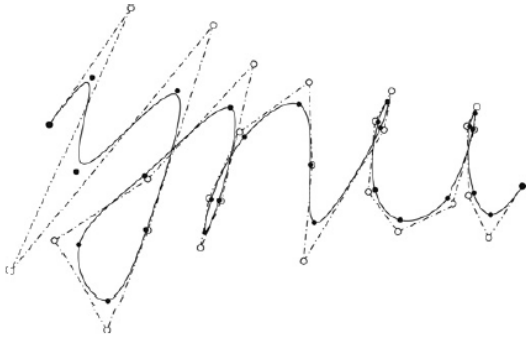


図2 YNUの筆記体の補間(iter=4)

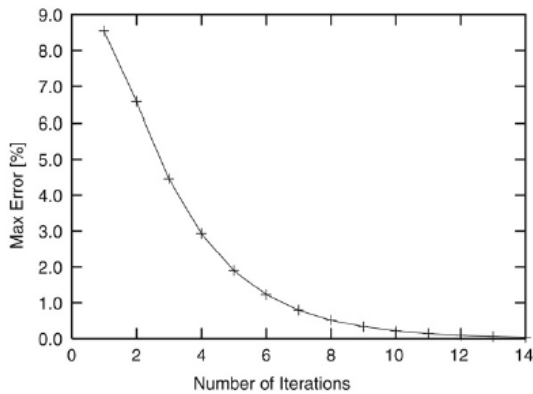


図3 幾何アルゴリズムの収束

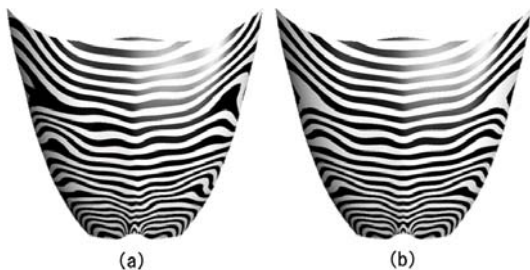


図4 反射対称の幾何学的な制約があるフィッティング

- ④ 制御点を誤差ベクトルと平行に移動するため、生成される曲線・曲面の品質が一般的に高い。
- ⑤ 反射対称等の幾何学的な制約があるフィッティングが容易に行える。図4に自動車のボンネットの例を示す。(a)は制約条件なしで計算した結果のゼブラマッピングであるのに対し、(b)は制約条件を課した結果である。
- ⑥ 計算のリスタートが可能である。

この他、補間の際の計算の高速化手法として以下の2点の方法が有効であることを示した。

- ① 制御点の最適な移動量の大きさを求めるために曲線・曲面が補間点を通るという制約条件下で制御点の移動量の最適化をラグランジュの未定乗数法により実施する。このことにより、計算コストを15%から35%減らすことが可能となった。
- ② 最も計算時間のかかるニュートン法による最近点の計算を、繰り返し計算のはじめの数回に限定し、それ以降の計算で固定して実施する方法を採用することにより、計算コストを55%から80%減らすことができた。

(2) 位置情報と法線情報が与えられた点群

位置に加えて各点における法線情報が既知の場合、位置だけではなく法線をも補間する曲線に関するアルゴリズムを開発した。これは先のアルゴリズムに、B-spline曲線上の接線が入力された単位法線ベクトルと垂直に交わるという幾何学的条件を付加することによって実現した。これにより法線情報を付加することによって設計の自由度を上げたり、NC加工には欠かせないオフセット曲線・曲面の近似の精度を向上させることが可能となった。図5に手の輪郭線のオフセットの位置と法線情報、また補間された曲線の拡大図(人指し指と中指の間)を図6に示す。

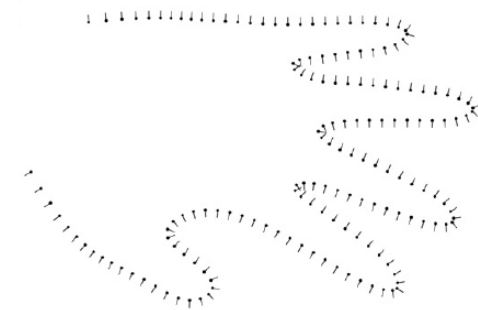


図5 手の輪郭線のオフセットデータ

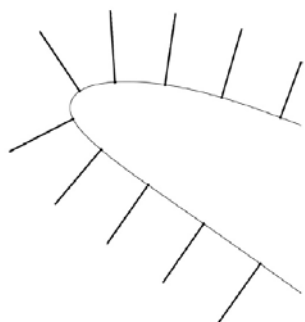


図6 補間された手の輪郭曲線の拡大図

ただし、当初の予定であった位置情報と法線情報が与えられた点群の幾何処理に基づくB-spline曲線の近似、B-spline曲面の補間・近似に関しては完成しておらず今後継続して実施することとした。その代わりに、当初の予定にはなかった各補間点において、位置、接線、曲率ベクトルが与えられた場合(図7(上左)参照)、これらを一様3次B-spline曲線で補間する方法を開発した。

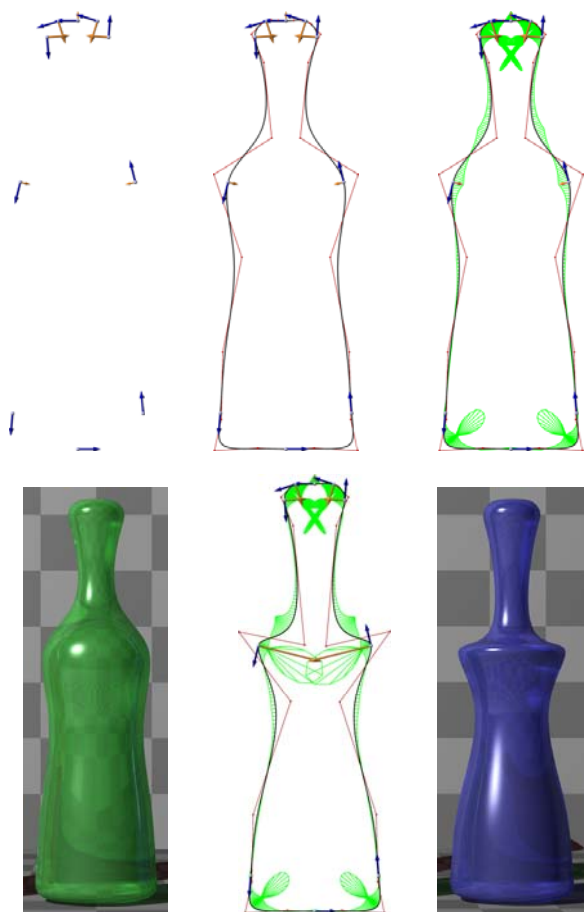


図7 ボトルのデザインへの応用

補間した結果を図7(上中)に示す。図7(上右)の曲率プロットから明らかなように、補間された曲線は位置、接線、曲率ベクトルも満たしていることがわかる。図7(下右)は、補間された断面プロファイル曲線を回転させて生成したボトルである。図7(下中)と(下右)は、(下中)の大きい矢印の位置での曲率のみの大きさを変更し生成したボトルのプロファイル曲線とその回転面である。

### (3) 応用例

上記のデザインやオフセット曲線への応用例以外に、トポロジーに頑強な点群から3次元モデルを再構築する方法を開発した。レベルセット法(LSM)によりトポロジーを把握した初期メッシュを生成し、幾何アルゴリズムによる近似から高品質かつ頂点情報が圧縮されたメッシュを生成する。図8に3つ輪の点群データから高品質なメッシュデータを作成した例を示す。

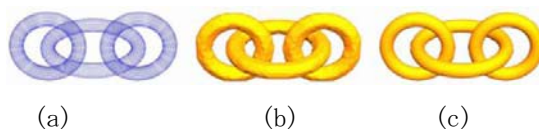


図8 トポロジーに頑強なメッシュ生成 (a) 入力点群 (b) LSM法によるメッシュ (c) 幾何処理による高品質メッシュ

## 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2件)

- ① A. Abbas, A. Nasri, and T. Maekawa  
“Generating B-spline Curves with Points, Normals and Curvature Constraints: A Constructive Approach”, *The Visual Computer* 26(6-8), pages 823-829, 2010. (査読有)
- ② S. Gofuku, S. Tamura, and T. Maekawa.  
“Point-Tangent/Point-Normal B-spline Curve Interpolation by Geometric Algorithms” *Computer-Aided Design*, 41(6), pages 412-422, 2009. (査読有)

[学会発表] (計5件)

- ① 良知 鷹彦, 王 銘思, 前川 卓, 「高速化されたアルゴリズムによるB-spline曲面近似」, 第20回設計工学・システム部門講演会 CD-ROM 論文集, No. 3308, 日本

機械学会, pages 467-472, 2010年10月. (査続無)

- ② 金 東俊, 良知 鷹彦, 安藤 嘉章, 澁谷 忠弘, 前川 卓 「レベルセット法と幾何アルゴリズムを用いた点群からのポリゴンメッシュ生成」、Visual Computing / グラフィクスとCAD 合同シンポジウム2010, 予稿集 (CD-ROM) (査続有)
- ③ 安藤 嘉章, 岡庭 翔一, 前川 卓, 「幾何処理と線形解法による細分割曲面補間の比較」, 第19回設計工学・システム部門講演会 CD-ROM 論文集, No. 2216 日本機械学会 pages 401-404, 2009年10月. (査続無)
- ④ 町田 賢一郎, 良知 鷹彦, 前川 卓, 「幾何処理によるB-spline 曲線・曲面補間の高速化」, 第19回設計工学・システム部門講演会 CD-ROM 論文集, No. 2214, 日本機械学会, pages 393-396, 2009年10月. (査続無)
- ⑤ Y. Nishiyama, M. Morioka, and T. Maekawa. “Loop Subdivision Surface Fitting by Geometric Algorithms” In T. Igarashi, N. Max, and F. Sillion Editors, Poster Proceedings of Pacific Graphics 2008, pages 67-74, October 2008, (査続有)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 近似処理方法、近似処理装置  
発明者: 前川 卓、西山 悠、森岡 真之  
権利者: 国立大学法人横浜国立大学  
種類: 特許  
番号: 2008-135643  
出願年月日: 2008/5/23  
国内外の別: 国内

名称: 近似処理方法、近似処理装置  
発明者: 前川 卓、西山 悠、森岡 真之  
権利者: 国立大学法人横浜国立大学  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2009/053252  
国内外の別: 国外

出願年月日: 2009/2/24

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 卓 (MAEKAWA TAKASHI)  
横浜国立大学・工学研究院・教授  
研究者番号: 70361863

(2) 研究分担者

梶原 健 (KAJIWARA TAKESHI)  
横浜国立大学・工学研究院・准教授  
研究者番号: 00250663