

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500133

研究課題名(和文) 3次元形状間の自動対応付けに関する研究

研究課題名(英文) Automatic shape matching between two 3-dimensional meshes

研究代表者

吉田 典正 (YOSHIDA, Norimasa)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：70277846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、3次元形状間の自動的な対応付けを目的とし、自動的な対応付けを行う手法を構築し、プログラムとして実装した。基本的なアイデアは、対象をパラメータドメインへ写像し、パラメータドメインにおける基本図形の位置を移動させることによって、自動的な対応付けを行う。自動的な対応付けは、基本図形内の点をサンプリングし、サンプリングした位置とその点に対応する形状位置との距離の差の二乗和を最小化することによって行う。このアイデアを、プログラムとして実装し、正常に動作することを確認した。しかしながら、対応に人の介入があったほうが好ましい場合などいくつかの問題があり、今後の研究の課題としたい。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to construct an algorithm for automatically finding a correspondence between two 3D meshes. The basic idea is mapping the object to a 2D rectangular parameter domain and moving each triangle in the parameter domain to find a correspondence. A correspondence is automatically found by minimizing the sum of the differences of squared distances from the sampled points in a triangle to the point of the mesh. We have implemented this algorithm and confirmed that the algorithm works. However, several problems remain, such as how to control the correspondence, etc.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：3次元メッシュ 自動対応付け モーフィング

1. 研究開始当初の背景

立体視ディスプレイや3Dプリンタなどの普及により3次元形状モデルは従来以上に広く利用されてきている。2つの異なる3次元形状が与えられたときに、2つの中間形状を作り出すモーフィングは広く利用されている。しかしながら、モーフィングを3次元形状で作成するには非常に手間を必要とし、自動化が可能となれば中間形状を作成する手間が大きく省くことができる。また、医療分野におけるメッシュに適用し、自動的な対応付けができたならば、医療診断などへの応用も期待される。

2. 研究の目的

本研究では、3次元形状に対して自動的な対応付けを行う基礎を構築することを目的として研究を行う。自動的な対応付けを行う手法は、形状をパラメータ化し、パラメータ空間における基本プリミティブ上をサンプリングした点からのそれぞれの形状への距離の差の二乗和を最小化することによって、自動的な対応付けを行う。このアイデアを確認するために、2次元のポリゴンモデル、2次元画像、3次元の顔のメッシュを対象として、二乗和最小化のアイデアの実装を行う。

3. 研究の方法

(1) 2次元ポリゴンモデルの自動対応付け
2次元の円と同相な2つの異なる(しかし似ている形状の)ポリゴンモデルに対して、自動的な対応付けを行う。ポリゴンモデルは円と同相であるため、線分の長さポリゴンの全長で割ることによって、容易に単位円へのパラメータ化が可能である。単位円において、3角形からスタートし、各辺からポリゴン上の点へ垂直に線を伸ばした距離の差(一方のポリゴンの距離から他方のポリゴンへの距離を引いたもの)の二乗和を最小化する。ある程度最小化がされたら、最もコストの大きい辺を分割し、二乗和の最小化および分割の最小化を繰り返していく。

(2) 2次元画像の対応付

2つの異なる(しかし似通っている)画像が与えられた際に、自動的な対応付けを行う。画像は、xy平面において自然なパラメータ化を持つので、このパラメータ空間を2つの三角形からスタートする。各三角形に関して、三角形内のピクセルに関して、RGBの各色の値の差(2つの画像の色の差)の二乗和を計算し、コスト(二乗和)の最も大きい三角形を分割し、さらに各頂点をコストが最小になるように移動させる。最もコストの大きい三角形を分割、分割された三角形の位置をコストが低くなるように調整するという処理を繰り返すことによって対応付けを行う。

(3) 3次元の顔モデルに対する対応付け

New York州立大学のDavid Gu教授より人の顔の前面の3次元メッシュ(円と同相)と等角写像によってパラメータ化したデータを頂き、このデータを用いて3次元の顔モデルの自動対応付けを行う。平面パラメータ化によって3次元メッシュ内の頂点は、四角形領域内の円に治まるようパラメータ化される。2次元画像の場合と同様に、四角形領域内を2つの三角形に分割するところからスタートし、コストを計算し、コストの大きい三角形を分割し、分割した三角形の頂点位置をコストが低くなるように移動させるという処理を繰り返し行い自動的な対応付けを行う。コストは、三角形内の点をサンプリングし、サンプリングした点から一方のメッシュの対応する点への距離と他方のメッシュへの距離の差の二乗和によって計算する。平面パラメータ化によって四角形領域内の円内にメッシュが写像されるため、コストを計算する際には、この円内に含まれる点のみをコスト計算の対象とする。なお、コスト最小化の過程において、局所解に陥ることを防ぐため焼きなまし法を利用する。

(4) 一般の3次元メッシュに対する対応付け

3次元メッシュに対しても、平面パラメータ化が可能であれば、基本的に(3)に述べたものと同様なアルゴリズムが適用可能である(しかしながら、実際にはこれから述べるように、非常に微細な三角形ができてしまう場合があり、今後の課題である)。

球と同相な閉じた3次元メッシュそのままでは平面パラメータ化が行えないため、メッシュに手作業によって切り込みを入れ、表面を円と同相とすることによって、平面パラメータ化を行う。平面パラメータ化には、CGAL(Computational Geometry Algorithms Library, <http://www.cgal.org/>)のライブラリ(authalic parameterization)を利用する。しかしながら、図1に示すように、1ピクセルよりも小さい領域に三角形群がパラメータ化されてしまう問題が生じた。図2に、別のパラメータ化されたメッシュの階層の深さを示す例を示す。図2において、左上の図からスタートし、右、右、左下、さらに右へという順で、赤い四角領域を拡大している。

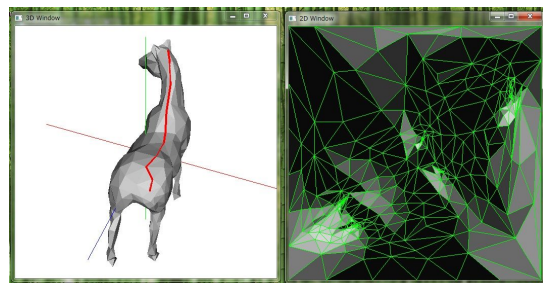


図1 メッシュへの切れ込み(左)と馬のメッシュの平面パラメータ化

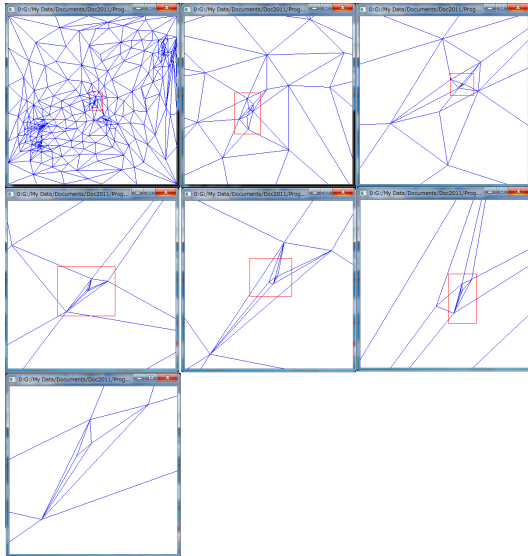


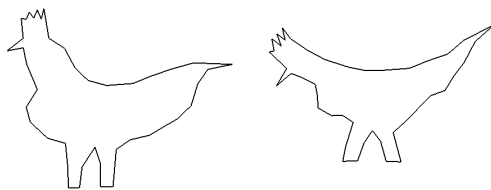
図2 平面パラメータ化における問題

この階層の深さの問題に対して, bubble mesh 的手法で頂点位置を移動させるなどいくつかの手法を試みたが, 現在までに解決には至っていない. しかしながら, このような深い階層を持たないものに対しては, (3)に述べたアルゴリズムは動作するものと期待される.

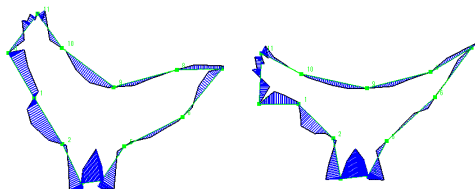
4. 研究成果

(1) 2次元ポリゴンモデルの自動対応付け

図3 (a), (b)に2つのポリゴンモデルを, 図4にそれぞれのポリゴンモデルの高さ情報を表示したモデルを表す. 図5は, 図3の2つのポリゴンモデルから作られた中間形状であり, 対応が正しく付けられていることが分かる.



(a) (b)
図3 2つのポリゴンモデル



(a) (b)
図4 線分からの高さ情報を表示

これらの結果により, 高さ情報の差の二乗和を最小化する手法によりポリゴンモデルに対する自動対応付けが可能となることが分かる. なお, 2つの形状が似通っていない場合などには, 対応が正しくとれない場合もある.

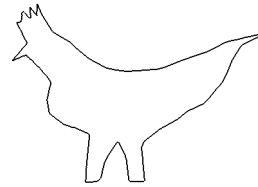


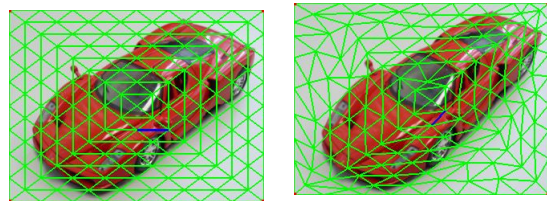
図5 生成された中間形状(t=0.5)

(2) 2次元画像の対応付け

図6に2つの画像, 図7に画像における三角形メッシュを示す. 図8は自動的に作成された中間画像(t=0.5)である. これより画像についても自動的な対応付けができていることが分かる.



(a) (b)
図6 2つの画像



(a) (b)
図7 平面上の三角形メッシュ



図8 中間画像 (t=0.5)

(3) 3次元の顔モデルに対する対応付け

3次元の顔形状のデータの結果に関しては, 利用の承諾が現時点では得られていないため割愛する. 対応付けのプログラムを実装した結果としては, ほとんどの場合に自動的

な対応付けが可能なことを確認した。顔形状にはテクスチャが付随しており、テクスチャを含めたレンディングが可能である。

(4) まとめと展望

本研究では、「高さ情報の差の二乗和を最小化する」という統一的な考え方によって、ポリゴンモデル、画像、3次元メッシュの自動的な対応付けが可能なことを、プログラムを実装することによって確認した。

一般的な3次元モデルに対応していくには、図1、図2に示したような平面パラメータ化の問題を解決していく必要がある。また、現時点での自動対応付けは、2つの画像または形状が似通っている場合のみ可能であり、今後より異なる画像・形状への拡張が望まれる。また、対応付けの研究をさらに進め、頂点を線形に移動させるのではなく研究成果にあるような曲線に沿って移動させ、より美しいモーフィングが可能でないかなどを調べていく予定である。

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 7 件)

Takafumi Saito, Midori Yamada and Norimasa Yoshida, Shape Analysis of Cubic Bézier Curves - Correspondence to Four Primitive Cubics, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Vol. 11, Issue 5, pp.568-578, Apr. 2014.

Norimasa Yoshida, Ryo Fukuda, Toshio Saito and Takafumi Saito, Quasi-Log-Aesthetic Curves in Polynomial Bézier Form, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Vol. 10, No. 6, pp. 983-993, 2013.

D. S. Meek, T. Saito, D. J. Walton, N. Yoshida, Planar two-point G1 Hermite interpolating log-aesthetic spirals, Journal of Computational and Applied Mathematics, 査読有, Volume 236, Issue 17, Pages 4485-4493, November 2012.

N. Yoshida, T. Saito, The Evolutes of Log-Aesthetic Curves and The Drawable Boundaries of The Curve Segments, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Volume 9, Number 5, pp. 721-731, 2012.

R. Ziatdinov, N. Yoshida, T. Kim, Fitting G2 multispiral transition curve joining two straight lines, Computer-Aided Design, 査読有, Volume 44, Issue 6, pp.591-596, June, 2012.

R. Ziatdinov, N. Yoshida, T. Kim,

Analytic parametric equations of log-aesthetic curves in terms of incomplete gamma functions, Computer Aided Geometric Design, 査読有, Volume 29, Issue 2, pp.129-140, February 2012.

N. Yoshida, R. Fukuda, T. Saito, T. Saito, Compound-rhythm Log-aesthetic Space Curve Segments, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Vol. 8, No.2, pp.315-324, 2011.

[学会発表](計 5 件)

Kenji Shikano, Takafumi Saito, Norimasa Yoshida, Complete Log-Aesthetic Surfaces by Logarithmic Helical Sweep, SIAM Conference on Geometric Design(GD/SPM13), Nov. 12, 2013, Denver, Colorado, USA.

Yuji Fujii, Norimasa Yoshida, Makoto Kanda, Toshio Saito, Mikio Shinya, Mass-Spring Simulation Based on the Unconditionally Stable Explicit Method, Image Electronics and Visual Computing Workshop, 2B-4, Nov. 22, 2012, Kuching, Malaysia.

N. Yoshida, Y. Kobayashi, T. Saito, K. Miura, G1 Hermite Interpolation of Bézier Unit Quaternion Integral Curves, Eighth International Conference on Mathematical Methods for Curves and Surfaces, Jun. 29, 2012, Oslo, Norway. T. Saito and N. Yoshida, G1 Hermite interpolation with extended Tschirnhausen cubic spirals, Eighth International Conference on Mathematical Methods for Curves and Surfaces, Jun 30, 2012, Oslo, Norway. N. Yoshida and T. Saito, Some characteristics of log-aesthetic planar curves, SIAM Conference on Geometric and Physical Modeling (GD/SPM11), Oct. 24, 2011, Orlando, Florida, USA.

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田 典正 (YOSHIDA, Norimasa)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：70277846

(2)研究分担者

斎藤 隆文 (SAITO, Takafumi)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：60293007

(3) 連携研究者

なし