

メッシュの最適化を利用したメッシュベースの形状モデリング

3AD-7

山田敦¹⁾

伊藤貴之¹⁾

嶋田憲司²⁾

千代倉弘明³⁾

1) 日本アイ・ピー・エム（株）

2) カーネギーメロン大学

3) 慶応義塾大学

東京基礎研究所

機械工学科

環境情報学部

1 はじめに

CADによる精巧な形状のモデリングとは別に、Webで公開するための3次元コンテンツなどを簡単に作成できるモデリング環境の構築への要求が近年高まっている。この要求に対する1つの手法として、押す、引っ張るなどの物理的な法則に従った変形操作を形状に対して与える方法がある1)3)4)。これらの手法の基本的な考え方は、基本形状をメッシュで表現しておき、何らかのエネルギー関数の値を最小にするメッシュ形状を数値計算の手法を使って求めることにより変形をおこなう。しかしこれらの提案されている手法を使って形状の概形から詳細な部分までを一貫してモデリングしていくことは困難であると考えられる。第一の理由は最初に生成したメッシュの荒さ以上に細かい変形を行なうことはできないことにある。一方で最初に十分に細かいメッシュを生成しておく、変形に要する時間はメッシュの細かさに応じて増加するため、処理時間が大幅に増加することになる。第二に変形を重ねるにつれてメッシュの形状が伸びたり歪んだりして望ましいメッシュでなくなっていく可能性があるし、また変形したい場所にメッシュのノードがなく、意図する変形ができない場合もある。

一般に形状をモデリングするとき、最初に概形を作成し、徐々に細かい部分を作成していく。このことを考えれば、最初に生成するメッシュは荒いメッシュでよく、細かい部分を作成する時に必要な細かさのメッシュを生成し直してモデリングを進めることができれば効率的である。

そこで本報告では、必要なときに必要な細かさのメッシュを生成しながらメッシュベースの形状モデリングを行う手法の構築を目指す。柔軟なメッシュ生成手法と物理変形手法を組み合わせることにより、与えられた基本形状にメッシュ生成後に物理変形とメッシュの最適化というサイクルを繰り返すことによりこの目的を

Mesh-based geometric modeling by using mesh optimization,

A. Yamada, T. Itoh, K. Shimada, H. Chiyokura

達成する（図1参照）。

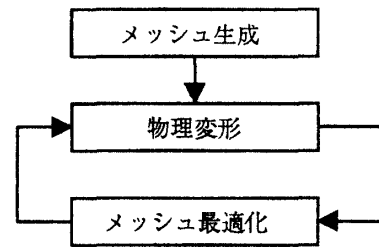
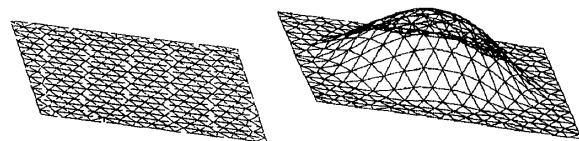


図1 モデリング概念図

2 形状の物理変形

物理変形に関する手法はいくつか提案されているが、本テーマでは Celniker の手法1)を用いる。この手法は、三角形メッシュで表現された形状を入力とし、構造力学で用いる薄板の曲げモデルを使って曲げによって生じる歪みエネルギーが最小になるようなメッシュ形状を、有限要素法を使って求める。この手法を用いる利点は、物理変形により変形後のメッシュノード位置が求まるだけでなく、メッシュ要素（3角形）内部の曲面式が生成されることにある。さらにこの曲面式は隣合うメッシュ要素間でG1連続な条件が満たされている。この曲面式は後で述べるメッシュの最適化で利用することになる。図2は変形の様子を表しており、平面の真ん中のメッシュノードを引っ張って持ち上げた例である。



(a) 物理変形前

(b) 物理変形後

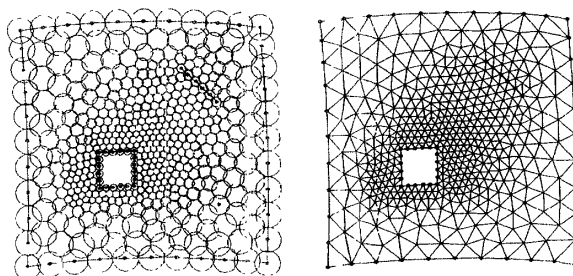
図2 形状の物理変形

3 メッシュ生成

物理変形を行うためには、まず平面あるいは曲面形状で構成された基本形状に対してメッシュが生成されていなければならない。本研究では、メッシュ生成手法としてバブル・メッシュ法2)6)を用いる。この手法は、与えられた領域の内部にバブルと呼ばれる円を最密に充填し、そ

の円の中心を結ぶことによりメッシュを生成する手法である(図3参照)。バブルを領域内部に最密に充填するために、近くにあるバブルどうしは離れようとし、遠くにあるバブルどうしは近づこうとする、分子間力に似たバブル間力を定義し、動力学方程式を解くことによりバブルの最密状態を計算する。この手法の利点として以下の3点が挙げられる。

- (1) **メッシュ要素サイズの制御。**必要な場所に必要な細かさのメッシュを簡単に生成することができる。充填するバブルの半径を場所に応じて変えることにより、部分的に荒く部分的に細かいメッシュを生成することができる。この利点を利用して、激しく変形する部分には細かいメッシュを生成し、そうでない部分には荒いメッシュを生成させることができる。
- (2) **指定し場所へのメッシュノードの生成。**領域内に内部点、内部線を指定することにより、それらの指定した場所に必ずメッシュノードを生成させることができる。このことにより、変形のために力を加えたい点や固定したい点に対してあらかじめメッシュノードを生成しておくことができる。
- (3) **正三角形に近いメッシュ要素の生成。**物理変形では、有限要素法を使ったメッシュ変形を行なっている。有限要素法の性格上、もし極端に細長い三角形が一部に生成されていると、変形に失敗する可能性がある。バブル・メッシュ法を利用することにより、できるかぎり正三角形に近いメッシュが生成でき、その結果有限要素法を使った安定な変形を行うことができる。



(a)バブルの充填 (b)三角形メッシュ
図3 バブル・メッシュ法によるメッシュ生成

4 メッシュ最適化

物理変形後のメッシュに対してさらに変形を重ねていくときに、次の変形に対して望ましいメッシュを生成し直す。まずどの部分にどれくらいの細かさのメッシュを生成するのか、またど

の部分にあらかじめメッシュノードを発生させるのかを入力として与える。物理変形後のメッシュは曲面式の集まりとして表現されているので、この曲面上にメッシュノードが生成されるように、バブル・メッシュ法を使ってメッシュを生成する。このことにより、最適化後のメッシュは元の曲面形状の上に滑らかな曲面形状をなすように生成される。図4は図2(b)に対してメッシュの一部を少し細かくし、さらにその部分に変形を加えた結果である。

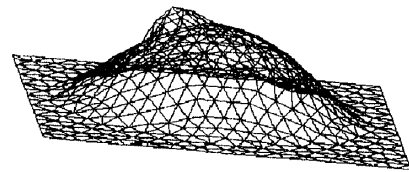


図4 モデリング結果

5 結論

本報告では、必要なときに必要な細かさのメッシュを生成しながらメッシュベースの形状モデリングを行う手法を提案した。まだプロトタイプを作ったに過ぎないが、このような手法を用いることにより、メッシュによる制約を受けることなく概形から細かな部分までモデリングしていくことが可能となると考える。

なお本研究は、情報処理振興事業協会の事業の一つである「物理的変形可能な3次元非定型形状作成環境の研究開発」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) G. Celniker, D. Gossard, Deformable Curve and Surface Finite-Elements for Free-Form Shape Design, *Computer Graphics*, Vol. 25, No. 4, pp. 257-266, 1991.
- 2) K. Shimada, Physically-Based Mesh Generation: Automated Triangulation of Surfaces and Volumes via Bubble Packing, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1993.
- 3) R. Szeliski, D. Tonnesen, Surface Modeling with Oriented Particle Systems, *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2, pp.185-194, 1992.
- 4) W. Welsh, Serious Putty: Topological Design for Variational Curves and Surfaces, Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1994.
- 5) O. C. Zienkiewicz, *The Finite Element Method*, Third Edition, McGraw-Hill, United Kingdom, 1977.
- 6) 山田敦, 嶋田憲司, 井上恵介, 伊藤貴之, 古畑智武, パラメータ空間への楕円最密充填による自動曲面メッシング手法, 情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム 97, pp.1-8, 1997.