

視覚的特徴を考慮したメッシュモデルの変形手法

Interactive Mesh Deformation that Preserves Visual Saliency

本田 浩一郎[†], 正会員 増田 宏^{††}

Koichiro Honda[†] and Hiroshi Masuda^{††}

Abstract Interactive mesh deformation is a powerful tool to create new mesh models from existing mesh models. When a mesh model is deformed, it is very important to preserve visually distinct features. However, existing deformation methods, which typically maintain discrete mean curvature, fail to preserve such visually distinct features. This is because mean curvature is calculated using just one- or two-ring vertices, although geometric features can be represented in various scales of mesh regions. In our method, the shapes of features are constrained based on visual saliency, which is calculated using a weighted sum of various resolutions of mean curvature values. We introduce a new constraint that can control the stiffness of a feature region based on the value of visual saliency. Such constraints are effective to realize interactive deformation that adequately preserves visually distinct features. We show that our method can interactively deform mesh models while preserving the visual saliency of mesh models.

キーワード：コンピュータグラフィックス，視覚的特徴量，メッシュ編集，デフォーメーション

1. ま え が き

近年では、3次元モデルは様々な分野で利用されるようになってきている。それによって、専門的な知識を持たない個人ユーザも増加しており、直感的かつ簡単に3次元モデルを製作することが求められている。その手段の一つは、既存モデルを再利用することである。再利用するためには、意図した形状に合わせて元のモデルを変形することが必要であるが、その際、元のモデルの特徴をよく保存しつつ形状変形することが重要である。

3次元モデルの特徴とは、物体表面の部分的な凹凸として認知されるが、モデルによっては、凹凸が複雑に変化していたり、大小の異なる凹凸が組み合わさっていたりするため、ユーザが特徴と感じる凹凸を指定することは容易ではない。

従来のメッシュモデルの変形では、特徴の指標として、離散平均曲率が用いられてきたが、離散平均曲率は、局所的なメッシュの近傍頂点からのみ算出される指標であり、比

較的大きなスケールの凹凸は特徴として認識されない。さらに、離散平均曲率は、通常、1 または 2 近傍の頂点から計算されるため、その量は形状だけでなく、メッシュの細かさにも依存する。

そこで本研究は、人間の視覚の認知モデルに類似したアルゴリズムを採用することによって、メッシュの細かさや特徴の大小に因らずに特徴的な領域を抽出し、変形しやすさを選択的に変化させることによって、より自然で直感的な変形を実現する。

2. 従 来 研 究

コンピュータグラフィックスの分野において、様々な3次元モデルの変形手法が研究されてきた。メッシュモデルをインタラクティブに変形する手法については大別して、自由形状変形、微分表現を用いた変形、多重解像度編集が知られている。

自由形状変形¹⁾は、対象の物体が存在する3次元空間を変形することで間接的に形状を変形する。ただし、意図した形状が得られるように空間を変形することは難しく、変形に幾何的な制約を与えることも容易ではないという問題がある。

微分表現を用いた変形は近年盛んに研究されている²⁾⁻⁸⁾。この方法では、メッシュの各頂点で計算された離散平均曲率をできるだけ保存するように変形を行う。数万頂点程度のメッシュモデルにおいては、マウス動作に追従できる速度での座標計算が可能である⁹⁾。また、この手法では目的

2008年9月4日受付, 2008年12月15日再受付, 2009年2月19日採録
† 東京大学 大学院 工学系研究科

(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6511)

†† 東京大学 大学院 情報理工学系研究科

(〒113-0033 文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-4091)

†† School of Engineering, The University of Tokyo

(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

† School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

(7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656)

関数を最小にする頂点座標を計算するため、頂点間で定義された任意の制約式を目的関数に組み込めるという利点がある。しかしながら、離散平均曲率を保存する変形は、1近傍もしくは2近傍の頂点から計算される凹凸を保存するものなので、大域的な特徴は必ずしも保存されないという問題がある。また、体積を保存するメッシュ変形手法¹²⁾¹³⁾も提案されているが、これらは変形による潰れを防ぐための手法であり、形状を認識する上で重要となる特徴部分を選択的に保持するものではない。

多重解像度編集¹⁰⁾¹¹⁾では、対象となるメッシュの頂点座標を周波数領域に変換することで、ベース形状と周波数の大きい詳細形状に分離し、ベース形状に対して変形を行うことで大域的な変形を実現する。ただしこの方法では、様々なスケールの特徴が混在している場合の扱いが難しいという問題がある。

形状の特徴を抽出する方法については、対象や応用目的に依存するため汎用的な手法があるわけではないが、特徴領域を抽出するためによく用いられる手法として、メッシュセグメンテーション法が提案されている。例えば、Katzら¹⁴⁾は様々なスケールの凹凸を大域的な最適化問題として検出する手法を示している。ただしこの方法は計算時間が非常にかかるため、インタラクティブな変形の前処理として適用するのは難しい。また、特徴を抽出するために、視覚的認知の計量モデルに基づく指標を算出する手法も提案されている。この手法は、2次元画像に対する手法¹⁵⁾として用いられていたが、Leeら¹⁶⁾は、3次元メッシュモデルに拡張し、メッシュモデルの特徴量を検出する手法を示した。

本研究ではLeeらの手法と微分量を保存するメッシュ変形を組合せることで、様々なスケールの特徴を保存するインタラクティブ変形を実現することを考える。

3. 視覚的特徴を考慮した形状変形

本研究では、微分表現を用いたメッシュ変形フレームワークに対し、視覚的特徴を定量化する指標を導入することによって、人が自然と感じる特徴の保存とインタラクティブな動作を兼ね備えたメッシュ変形を実現する。

本論文で提案する手法では、離散平均曲率と視覚的特徴に基づいた相対位置保存制約を保存する。これらの制約は位置制約とともに一つの線形システムとして記述され、マウス操作に応じて、最小2乗法によってインタラクティブに頂点座標が算出される。以下、本手法で用いる制約式と解法について示す。

3.1 離散平均曲率法線と位置制約

平均曲率は微分可能な曲面において定義されるものであるが、離散的なメッシュモデル上については、Meyerら¹⁷⁾によって近似式が提案されている。 A_i を頂点 p_i に関するボロノイ面積、 N_i を頂点 p_i の1近傍頂点の集合、 Λ をメッシュ全体の頂点の添え字集合とすると、頂点 p_i ($i \in \Lambda$)での離散平均曲率法線は式(1)で表すことができる。

$$L(p_i) \equiv \frac{1}{4A_i} \sum_{j \in N_i} (\cot \alpha_{ij} + \cot \beta_{ij})(p_i - p_j) = R_i \quad (1)$$

ここで、 R_i は平均曲率 κ_i と法線 n_i の積であり、 α_{ij} と β_{ij} は稜線 (i, j) の対角である。また、 R_i は回転行列である。変形の前においてこの離散平均曲率を保存することで、図1に示すように、形状の特徴を適度に保った変形を行うことができる。

頂点座標を一意に決めるためには、少なくとも1点に関して位置を固定させるための位置制約が必要である。位置制約はユーザが画面上で指定するもので、変形中に変化させない固定点制約とマウスに追従させるハンドル制約がある。この座標を u_i と置き、位置制約を与える頂点の添え字集合を Λ_p とおけば、制約式は以下ようになる。

$$p_i = u_i \quad (i \in \Lambda_p) \quad (2)$$

式(1)の回転行列 R_i は、マウス操作に応じて頂点 i ($i \in \Lambda_p$)の法線 n_i を回転させるために用いられる。一般に、回転行列 R_i は回転軸 m_i と回転角 θ_i によって一意に定まる。本研究では、Yoshiokaら⁷⁾と同じ方法によって、回転行列 R_i を計算する。すなわち、 m_i と θ を用いて、回転 r_i を以下のように決める。

$$r_i = \frac{1}{2} \theta_i m_i \quad (3)$$

そして、以下の制約式を解くことによって、 r_i を計算し、それに基づいて、回転行列 R_i を算出する。

$$\begin{aligned} L(r_i) &= 0 \quad (i \in \Lambda) \\ r_j &= w_j \quad (j \in \Lambda_p) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 w_j は位置制約が与えられた頂点における回転量で、ユーザ操作によって与えられる。固定点では $w_j = 0$ である。

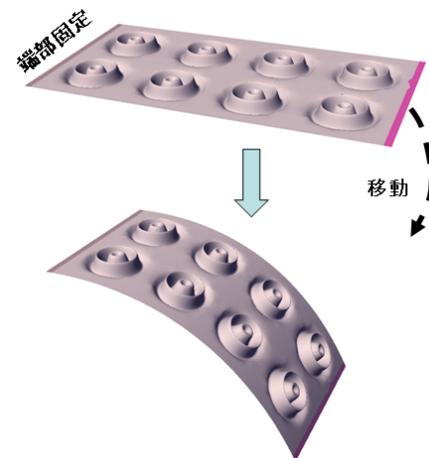


図1 平均曲率を保存した変形
Deformation that preserves discrete mean curvature.



図 2 平均曲率の分布
Distribution of discrete mean curvature.

3.2 視覚的特徴の算出

図 2 は、1 近傍から計算された平均曲率の分布を示している。離散平均曲率法線を保存することで表面の局所的な凹凸は保存することができるが、大域的な特徴を検出・保存することはできない。そこで本研究では、Lee ら¹⁶⁾の提唱した視覚的特徴の計量モデルに基づき、大小様々な特徴を保存する制約を提案する。

各頂点 i における平均曲率を κ_i とする。また頂点 i から距離 σ 以下の近傍頂点を考え、その頂点集合を $N_i(\sigma)$ とする。このとき、距離に関する減衰関数 ϕ を用いて次のような関数を考える。

$$g(\mathbf{p}_i, \sigma_k) = \frac{\sum_{j \in N_j(\sigma)} \kappa_j \phi(|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j|^2)}{\sum_{j \in N_j(\sigma)} \phi(|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j|^2)} \quad (5)$$

この関数 g は距離 σ 内の領域に含まれる頂点において、平均曲率に関して、関数 ϕ を重みとした重み付き平均を取ったものである。本研究では関数 ϕ として、以下に示すガウス関数を用いる。

$$\phi(r) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

次に、式 (5) で定義された関数 g に関して以下の関数 s を考える。

$$s(\mathbf{p}_i, \sigma) = |g(\mathbf{p}_i, \sigma) - g(\mathbf{p}_i, 2\sigma)| \quad (7)$$

この差分関数では、図 3 に示すように、局所的な変化からより広範囲の変化の影響を引いているため、多重解像度分析におけるスペクトルの分離に相当する処理を行っていることになる。

ここで、式 (7) の距離 σ の値を変えることで多階層にわたって変化量を算出する。ここでは、メッシュ全体を囲むバウンディングボックスに比例する基準長さ ϵ を用いて

$$\sigma_k = k\epsilon \quad (k = 1, 2, \dots, n_s) \quad (8)$$

のように決め、 $s_{i,k}$ を

$$s_{i,k} = |g(\mathbf{p}_i, \sigma_k) - g(\mathbf{p}_i, 2\sigma_k)| \quad (9)$$

と決める。そして、式 (9) の値を、各頂点において、スケール

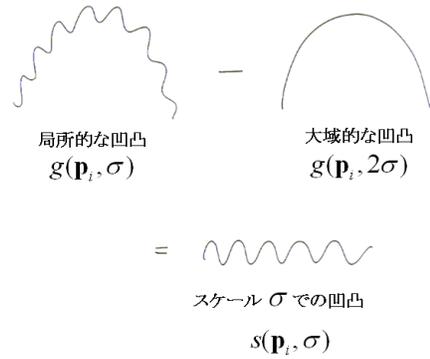


図 3 関数 s の意味
Effect of function s .

ル k ごとに計算する。なお、 n_s は解像度であり、本研究では $n_s = 5$ として計算を行った。

図 4 に、Dragon モデルにおける $s_{i,k}$ の値の変化を示す。局所的な鱗の凹凸は k が小さいほど顕著に現れ、 k が大きくなるほど減衰している。逆に、比較的大きな特徴である前足の部分は k が大きいほど顕著に現れることがわかる。

次に、特徴量の変化を正規化するために、スケール k ごとに全頂点での最大値 M_k と最小値 m_k を計算する。このとき、頂点 i における特徴量を以下の式で定義する。

$$s_i = \sum_{k=1}^{n_s} \frac{s_{i,k}}{M_k - m_k} \quad (10)$$

この式は、スケールごとの変動量の違いを補正したものとなっている。

図 5 に s_i の値の分布を示す。この図は、異なるスケールの特徴量の重み付き平均を取ったものなので、様々なスケールの特徴量が反映されたものとなっている。

3.3 視覚的特徴量のための幾何制約

特徴量 s_i をインタラクティブな形状変形のための制約として変形フレームワークに導入することを考える。本研究では、頂点間の相対位置を保存する制約⁷⁾⁸⁾を利用し、特徴量 s_i の値を重みとした相対位置保存制約を提案する。すなわち、変形前の頂点座標を $\tilde{\mathbf{p}}_i$ 、稜線 (i, j) の集合を Λ_e とするとき、以下の制約式を導入する。

$$\frac{s_i + s_j}{E_{ij}} (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j) = \frac{s_i + s_j}{E_{ij}} R_i (\tilde{\mathbf{p}}_i - \tilde{\mathbf{p}}_j) \quad (11)$$

$$(i, j) \in \Lambda_e$$

この式は、ベクトル $\overrightarrow{\mathbf{p}_i \mathbf{p}_j}$ の長さを保存させるための制約となっている。ここで、 E_{ij} は $\tilde{\mathbf{p}}_i$ と $\tilde{\mathbf{p}}_j$ の距離の 2 乗、 R_i は回転行列である。

式 (11) の制約式は、3.4 節で示すように、平均曲率を保存する制約式 (1) と合わせて、最小 2 乗法によって解かれる。したがって、式 (11) の両辺にある $(s_i + s_j)/E_{ij}$ は、相対的位置保存制約の強さを表している。すなわち、 $s_i + s_j$ の値が非常に大きい部分は制約式 (11) の影響が支配的になるた

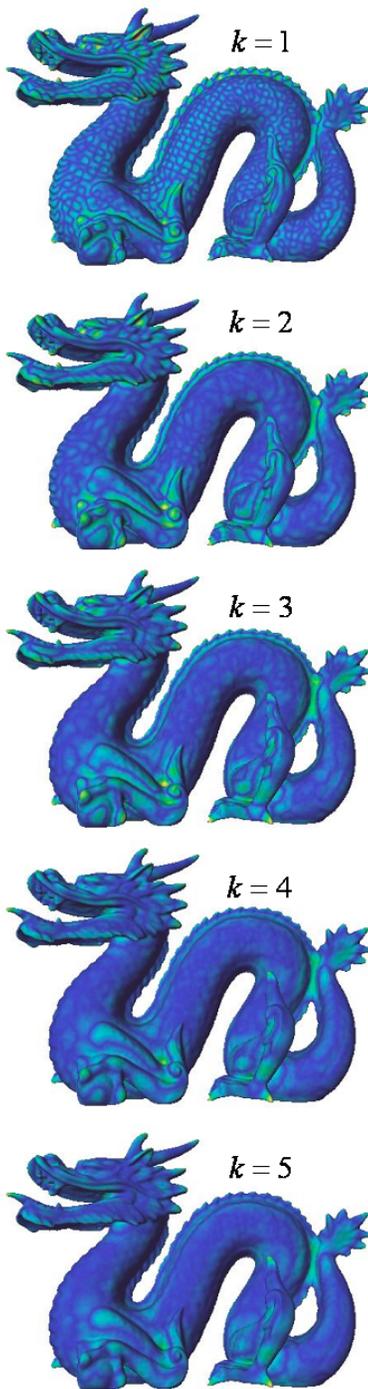


図 4 異なるスケール k における特徴量
Distribution of features with different scales.

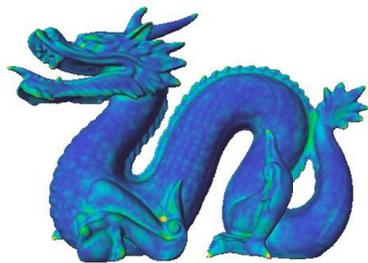


図 5 異なるスケールの特徴量の重ね合わせ
Weighted sum of different scales of features.

めに変形しにくくなり、剛体に近くなる。一方、 $s_i + s_j = 0$ のときは剛体の制約は無視されて、制約式 (1) が支配的になる。式 (1) の 2 乗は近似的に 2 階のラプラシアンとなり、薄板の曲げエネルギーとみなせるため⁴⁾、この場合には、形状は、薄板の曲げエネルギーを最小化するように変形する。一般には、視覚的に特徴的な部分を保存する変形は、剛体変換と薄板変形の間の中状態となる。本研究においては、視覚的特徴量に応じて局所的に変化する $s_i + s_j$ の値を制約の重みとして用いることによって、視覚的特徴量が大きいほど相対的に変形しにくくなっており、形状の特徴が保持されやすくなる。また、 E_{ij} で割っているのは、微小距離の稜線ほど変形しにくくする効果を生じさせるためである。その結果として、小さい稜線を変形する場合に、裏返りなどの品質の劣化が生じるのを抑制することができる。

次に、稜線 (i, j) を剛体として回転させるために、回転行列を計算する制約式 (4) に以下の式を追加し、 $R_i \approx R_j$ となるように回転行列を計算する。

$$\frac{s_i + s_j}{E_{ij}}(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) = \mathbf{0} \quad ((i, j) \in \Lambda_e) \quad (12)$$

これらの制約を追加することにより、制約を与えられた領域は剛体として移動しようとするが、その強さは $s_i + s_j$ の相対的な大小関係によって決まる。すなわち、この値が大きい部分ほど、元の形状を保とうとする効果を生じる。

3.4 頂点座標の算出

制約式の個数は変数である頂点座標よりも多いので、最小 2 乗法を用いて頂点座標を算出する。そのために、まず、以下の式を解いて \mathbf{r}_i ($i \in \Lambda$) を計算し、回転行列 R_i を求める。

$$\sum_{i \in \Lambda} |L(\mathbf{r}_i)|^2 + \omega_1 \sum_{i \in \Lambda_p} |\mathbf{r}_i - \mathbf{w}_i|^2 + \omega_2 \sum_{(i, j) \in \Lambda_e} \frac{(s_i + s_j)^2}{E_{ij}^2} |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

ここで ω_1, ω_2 は各制約をどの程度厳密に満たすのかを決める係数である。位置制約はできるだけ厳密に満たす必要があるため、 ω_1 は十分に大きな値を取る。 ω_2 は視覚的特徴量をどの程度反映させるかを制御する変数である。本論文中で示した例題においては、 $\omega_2 = 1$ として計算したところ良好な結果が得られている。この値は、結果を確認しながら、ユーザが調整することも可能である。

次に、式 (13) を解いて得られた R_i を次式に代入して頂点座標 \mathbf{p}_i ($i \in \Lambda$) を計算する。

$$\sum_{i \in \Lambda} |L(\mathbf{p}_i) - R_i \mathbf{u}_i|^2 + \omega_1 \sum_{i \in \Lambda_p} |\mathbf{p}_i - \mathbf{u}_i|^2 + \omega_2 \sum_{(i, j) \in \Lambda_e} \frac{(s_i + s_j)^2}{E_{ij}^2} |(\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j) - R_i(\tilde{\mathbf{p}}_i - \tilde{\mathbf{p}}_j)|^2 \rightarrow \min \quad (14)$$

この最適化の式では、特徴量 s_i が大きい部分ほど、相対的

な位置の制約が強く満たされ、結果として形状が変化しにくくなる。

式 (13) と式 (14) の解は、線形システムを解く問題に帰着する。式 (4) と式 (12) は、線形式として、 $M\mathbf{r} = \mathbf{c}$ の形式に書くことができる。また、式 (1)(2)(11) は、同じ行列 M を用いて、 $M\mathbf{p} = \mathbf{b}$ の形式に書くことができる。ここで、 \mathbf{r} と \mathbf{p} は、それぞれ 3次元ベクトルの集合 $\{\mathbf{r}_i\}$, $\{\mathbf{p}_i\}$ の 3変数を並べた $3n$ 要素のベクトルである。ただし、 n は頂点数である。

この線形式を用いて、式 (13) と式 (14) の解はそれぞれ、

$$\begin{aligned} M^T M \mathbf{r} &= M^T \mathbf{c} \\ M^T M \mathbf{p} &= M^T \mathbf{b} \end{aligned} \quad (15)$$

を解いて計算することができる。ここで、 $M^T M$ は正定値対称行列なので、前処理としてコレスキー分解をしておけば、異なる \mathbf{b} と \mathbf{c} に対して、前進代入と後進代入によってインタラクティブな操作が可能な程度に高速に解を算出することができる。この解法はラプラシアンを用いた既存変形手法³⁾⁴⁾と同じなので、インタラクティブな変形に要する時間は従来手法と変わらない。

4. 評価実験

本手法に基づいてメッシュモデルを変形した例を示す。滑らかな凹凸をもったモデルとして図6を、複雑な凹凸を持ったモデルとして図8を用いて手法の評価を行った。

図6は、元のメッシュモデルと視覚的特徴量を示している。視覚的特徴量の分布図(図6右)において、目、鼻、口、耳といった顔の部位(すなわち特徴領域)に対して、大きな値を示していることがわかる。また、このモデルを変形した結果を図7に示す。視覚的特徴量に基づく制約を加えないで変形を行う場合、目や鼻、耳など各部位が引き伸ばされて不自然な形状になっている。一方、制約を加えた場合には、各部位の形状は引き伸ばされるのが抑制され、逆に特徴的でない領域が伸びることによって、バランスのとれた変形が実現している。

一般にモデルを伸長させる変形においては、どの部分かが必ず伸長されなければならないが、この例の場合、制約を加えない時には特徴的な部位もそうでない部位も一緒に伸長され、制約を加えた場合にはより特徴的でないところが伸長されているのがわかる。

図8は、複雑な凹凸を持つメッシュモデルと視覚的特徴量を示している。このモデルを変形した結果を図9と図10に示す。いずれの場合でも、既存手法では肋骨の間隔や背骨のラインがつぶれているが、特徴量を考慮した制約を加えることで、それらの特徴がよく保存された変形が実現できている。また、手の位置も適切な姿勢に移動している。

本手法では、局所的な特徴と大域的な特徴を抽出し、その両方を考慮した制約式を設定しているため、これらの例題において、特徴的な領域が適切に保存できている。



図6 滑らかなメッシュモデル(左)と視覚的特徴量(右)
A smooth mesh model (left) and its salient features (right).

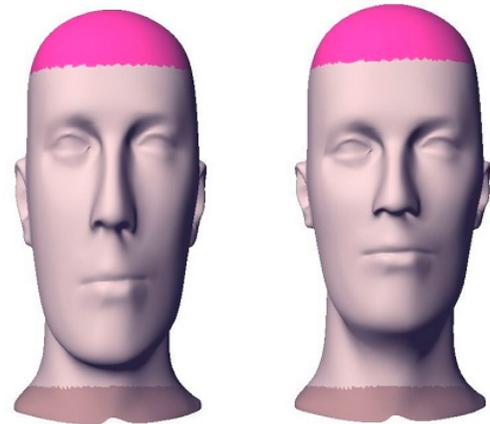


図7 滑らかなメッシュモデルの変形(左:視覚的特徴量の制約なし;右:視覚的特徴量を保存)
Deformation of smooth mesh model (Left: no salient constraints; Right: salient constraints.)

5. むすび

本論文では、視覚的な特徴量に基づいて形状の特徴的な部分を選択的に保存するインタラクティブなメッシュ変形手法を提案した。この方法は、Leeらの提案した視覚的特徴量を重みに用いて、特徴部分の相対的な位置を保存する制約式を解いている。また、本手法をいくつかの例題に適用して、形状変形の品質を向上できることを示した。本手法は、視覚的特徴量を線形制約として表現しているため、他の制約を用いた手法と組合せて用いることもできる。

今後の発展としては、特徴領域を考慮した平滑化やデフォルム、GPGPUによる計算を高速化が考えられる。

【文献】

- 1) T.W. Sederberg, S.R. Parry, "Free-Form Deformation of Solid Geometric Models." In Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM Press, pp.151-160 (1986)
- 2) M. Alexa, "Differential coordinates for local mesh morphing and deformation." The Visual Computer, 19(2):pp.105-114(2003)
- 3) O. Sorkine, D. Cohen-Or, Y. Lipman, M. Alexa, "Laplacian Surface Editing." In Proceedings of Eurographics, pp.175-184(2004)
- 4) M. Botsch, L. Kobbelt, "An intuitive framework for real-time freeform modeling." In Proceedings of ACM SIGGRAPH, ACM Press, pp.630-634(2004)



図 8 凹凸のあるメッシュモデルと視覚的特徴量
A bumpy mesh model and its salient features.

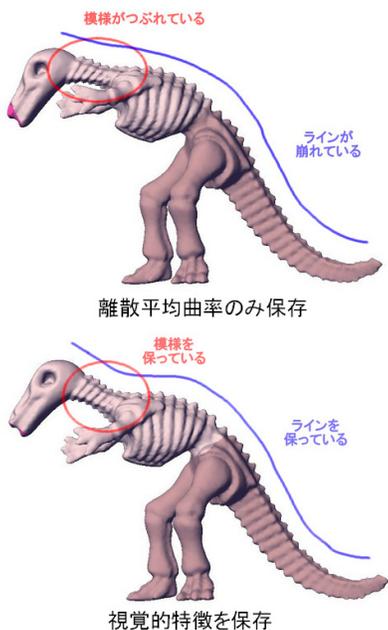
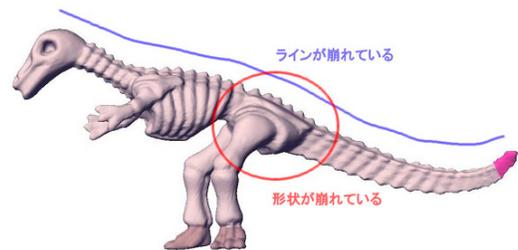
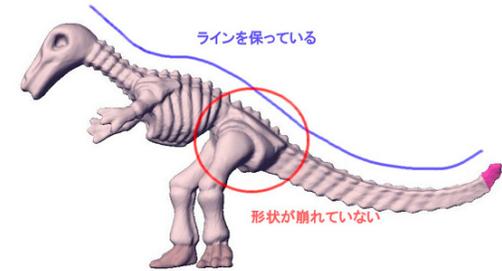


図 9 凹凸のあるメッシュモデルの変形 (1)
Deformation of dumpy mesh model.



離散平均曲率のみ保存



視覚的特徴を保存

図 10 凹凸のあるメッシュモデルの変形 (2)
Deformation of dumpy mesh model.

- 5) Y. Lipman, O. Sorkine, D. Cohen-Or, D. Levin, C. Rossil, H.P. Seidel, : " Differential coordinates for interactive mesh editing. " In Proceedings of Shape Modeling International, IEEE Computer Society Press, pp.181-190(2004)
- 6) Y. Yu, K. Zhou, D. Xu, X. Shi, H. Bao, B. Guo, H.Y. Shum, : " Mesh editing with Poisson-based gradient field manipulation. " In ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH), 23(3): pp.644-651(2004)
- 7) Y. Yoshioka, H. Masuda, Y. Furukawa, : " A Con-strained Least Squares Approach to Interactive Mesh Deformation. ", IEEE International Conference on Shape Modeling and Applications, pp.153-162(2006)
- 8) H. Masuda, Y. Yoshioka, Y. Furukawa, : " Preserving Form-Features in Interactive Mesh Deformation. ", Proceedings of Geometric Modeling and Processing, pp.207-220(2006)

- 9) M.Botsch, D.Bommes, L.Kobbelt: "Efficient Linear System Solvers for Mesh Processing", IMA Conference on the Mathematics of Surfaces, pp.62-83 (2005)
- 10) M. Eck, T. DeRose, T. Duchamp, H. Hoppe, M. Lounsbery, and W. Stuetzle: "Multiresolution analysis of arbitrary meshes", In Proceedings of ACM SIGGRAPH, ACM Press, pp.173-182 (1995)
- 11) M. Botsch, L. Kobbelt, : " A remeshing approach to multiresolution modeling. " In Symposium on Geometry Processing, pp.189-196 (2004)
- 12) K. Zhou, J. Huang, J. Snyder, X. Liu, H. Bao, B. Guo, H.Y. Shum: "Large mesh deformation using the volumetric graph Laplacian", In Proceedings of ACM SIGGRAPH, ACM Press, pp.496-503 (2005)
- 13) J. Huang, X. Shi, X. Liu, K. Zhou, L.Y. Wei, S.H. Teng, H. Bao, B. Guo, H.Y. Shum: "Subspace gradient domain mesh deformation", In Proceedings of ACM SIGGRAPH, ACM Press, pp.1126-1134 (2006)
- 14) S. Katz, A. Tal, : " Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts. " ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH), 22(3):pp.954-961(2003)
- 15) L. Itti, C. Koch, E. Niebur, : " A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. " IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 20, 11, pp.1254-1259(1999)
- 16) C.H. Lee, A. Varshney, D.W. Jacobs, : " Mesh Saliency. " ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH), 24(3):pp.659-666(2005)
- 17) M. Meyer, M. Desbrun, P. Schroder, A.H. Barr, : " Discrete differential-geometry operators for tri-angulated 2-manifolds. " In Visualization and Mathematics 3, Hege H.-C., Polthier, K., (Eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, pp.35-57(2003)



ほんだこういちろう
本田 浩一郎 2008年, 東京大学工学部システム創成学科知能社会システムコース卒業. 2008年, 同大学院情報理工学系研究科修士課程在学中. コンピュータグラフィックスに関する研究に従事.



ますだ ひろし
増田 宏 1985年, 東京大学工学部精密機械工学科卒業. 1987年, 同大学院工学系研究科修士課程修了. 同年日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所. 1998年, 東京大学大学院工学系研究センター助教授, 2003年より東京大学大学院工学系研究科准教授. 形状モデリング, コンピュータグラフィックス, CADに関する研究に従事. 工学博士. 正会員.