

## 3次元表面の稜線と 閉じたストリームラインに基づく再メッシュ化手法

森田 伊織†

坂本 博康‡

†九州大学大学院 芸術工学府

‡九州大学大学院 芸術工学研究院

3次元計測技術の向上に伴い、スキャニングによって得られた実物の形状データをCG制作などに利用したいという要望は強まっている。しかし、スキャニングで得られた3Dモデルは、データ量の過剰性や構造の不規則さなどの理由から、レンダリングや幾何形状の編集処理には不向きであることが多い。そのため、モデルの特徴に基づいた自動的な四辺形再メッシュ化処理[1]の研究が注目されている。本報告では形状の尾根や谷となる特徴稜線や閉じたストリームラインを重要な区分線として利用する再メッシュ化の一手法を提案する。本手法では、まず3Dメッシュ各点における主曲率とその方向の推定を行い、曲率の大きな点を開始点として主曲率ベクトル場に沿ってストリームラインを引き、それらの交点を頂点とするメッシュを構築する。

### A Remeshing Method Based on Ridges and Closed Streamlines of 3-dimensional Surface

Iori Morita† and Hiroyasu Sakamoto‡

† Kyushu Univ, Graduate School of Design ‡ Kyushu Univ, Faculty of Design,

Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka 815-8540, japan

Recent development of 3-dimensional (3D) scanning technologies has promoted requisition for employing the scanned shape data in applications such as CG production. The scanned 3D models, however, have huge quantity of data and irregular structures that they are not necessarily appropriate for rendering and geometry editing processes. Therefore automated techniques for quad-dominant remeshing have been receiving much attention. In this paper, we propose a remeshing method employing ridges and closed streamlines of surface as significant partitioning lines. In this method, we estimate principal curvatures and their directions at each points on original 3D mesh. Then we trace streamlines along principal directions from points with outstanding feature. Final, mesh is constructed by connecting intersections of these streamlines.

#### 1. はじめに

近年、レーザースキャナ技術等の向上によって、実物の形状データを非常に精密にスキャニングすることが可能になった。しかし、このような3Dデータは、膨大な点群データによる非構造メッシュとなり、さまざまなコンピュータグラフィックス処理に大きな負担がかかる。一方、3Dモデルデザイナーが作ったモデルは、形状の特徴がよく抽出され、少ないデータで物体を表現している。しかし、模型や写真などの資料を基に市販のモデリングソフトウェアを使って、3Dモデルで対象を忠実に再現するためには、高度な技術がデザイナーに要求される。そのため、非構造メッシュから、物体の有効なメッシュ構造を構築する再メッシュ化に関する研究が近年注目を集めている。スキャナ等から得られた形状データから、熟練デザイナーが作ったようなモデルを生成する有効な再メッシュ化手法が開発

されれば、CG制作、CAD、CAM、リバーズエンジニアリングなど、さまざまな分野に応用可能である。

熟練デザイナーが作ったモデルは、形状編集やレンダリング、テクスチャマッピング、アニメーションなど、目的とする処理に相応しいメッシュ構造を伴っている。たとえば、モデル表面の大部分が四辺形の格子状メッシュで構成されており、メッシュの方向(フェースの辺の方向)は表面上の主曲率方向にほぼ揃えられている。このようにメッシュの方向が接平面上の特定の方向に偏っている構造は非等方構造と呼ばれている。逆に偏りが無い構造は等方構造と呼ばれる。非等方なメッシュ構造は、高解像度のモデルを少ないポリゴンで表現する上で非常に良好な近似をもたらす。直交した2Dパラメータを割り当てるテクスチャマッピングやアニメーションの設定にも好都合な場合が多い。また、視覚的に望ましくないアーティファクトが起り

にくく、表面の滑らかなレンダリングが可能であることも知られている。このようなメッシュを構築する処理は、非等方再メッシュ化 (Anisotropic Remeshing) と呼ばれ、Alliez 等[1]によって発表されて以来、さまざまな拡張の手法が提案されている。

また、デザイナーが作ったモデルでは、円筒型などの領域で、メッシュの連結がしばしば閉じたストリームラインを形成する。閉じたストリームラインは、シームレスなテクスチャマッピングなどにおいて等値曲線として利用することができ、スケルトンの動きに連動するアニメーションなどにも役立つと考えられる。

### 1. 1 これまでの研究

再メッシュ化については、これまでに多くの研究が行われているが、ここではその中のいくつかを挙げる。金井等はメッシュの整列化処理を行うユーザーの作業負担を軽減するために、対話的な再メッシュ化手法を提案した[2]。この手法では、形状の特徴を考慮してユーザーが表面上に引いた境界線により、メッシュは円盤と位相同型な複数領域に分割される。続いて各領域に格子状パターンが割り当てられることで、四角形再メッシュ化が行われる。Alliez 等は、主曲率方向に沿ってストリームラインを引くことで、自動的に非等方再メッシュ化を行う手法を提案した[1]。さらに、Marinov と Kobbelt[3]は、メッシュ上で曲率方向が顕著な領域から、そうでない領域へベクトル情報を伝播させることによって、Alliez 等の非等方再メッシュ化手法を、等方領域にも順応した quad-dominant な再メッシュ化手法に拡張した。一方、Ray 等[4]は入力メッシュの各頂点に 2 次元の周期的な大域的パラメータを割り当て、その等値線によって再メッシュ化を行い、四角形メッシュを生成している。

非等方再メッシュ化[1][3][4]における多くの手法は主曲率方向を用いている。そのため、離散的な曲面データから主曲率を推定する手法も非常に重要となる。代表的な手法としては、Cohen-Steiner 等[5]の手法が挙げられる。また、Alliez 等[1]や Yang 等[6]は主成分分析を利用して主曲率を推定する手法を示している。

非等方フィルタリング手法などの非等方性を用いる処理には、従来、ベクトル場の概念が主に利用されてきたが、最近では曲率テンソル場を使った手法が注目を集めている。テンソル場を用いる手法は比較的新しく、まだそれほど多くはない。テンソル場の使用例については、Zhang 等[7]に詳しく述べられている。Alliez 等[1]も、縮退点の総数を削減するフィルタリング処理にテンソル場を利用している。Delmarcelle と Hesselink[8]は、テンソルインデックスを使ってテンソル場のトポロジーを解析する手法について述べている。

### 1. 2 本稿の内容

このような四角形を形成する再メッシュ化の代表的な手法には、ストリームラインによってメッシュを生成する手法とパラメタリゼーションに基づく手法が挙

げられる。本研究では、回転体領域における閉じたストリームラインの形成と表面上の特徴となる稜線に注目した再メッシュ化手法を提案する。

まず、2 章では、主曲率、および主曲率ベクトル、テンソル場の推定方法について提案する。本報告では、2 階の対称テンソル場のみを使うので、以降、これをテンソル場と表記する。3 章では、フィルタリング処理について述べ、4 章では、本手法におけるストリームラインの計算法とその働きについて説明する。5 章では、ストリームラインを用いた再メッシュ化手法について説明する。最後に考察を述べる。

## 2. 主曲率のベクトル場とテンソル場

稜線の情報を得るために、モデル表面の主曲率とその方向を推定する。主曲率方向の推定には複数の手法があるが、本研究では 2.1 で提案する手法で推定を行う。また、近年の再メッシュ化手法ではテンソル場の概念が注目されている。テンソル場はベクトル場と違い、向きの正負について場合分けを行う必要がなく、直交する 2 つの主曲率方向を同時に扱うことができるという利点がある。さらに、メッシュ上の 1 点だけではなくその近傍の性質を表現することができ、特異点の検出に利用することもできる。本研究では、テンソル場の概念を特異点の検出やフィルタリングにも利用する。

### 2. 1 主曲率と主曲率方向の推定

モデル表面  $M$  上で点  $p \in M$  をとり、表面上の頂点  $p$  における法線ベクトル  $n(p)$  と、ある単位法線ベクトル  $m$  のなす角度  $\phi_m(p)$  を求める。

$$\phi_m(p) = \cos^{-1}(n(p) \cdot m) \quad [\text{rad}] \quad (1)$$

本研究ではこのスカラー場  $\phi_m(p)$  の勾配から、主曲率、および主曲率方向を求める。次の手続きによって、点  $p$  における 2 つの主曲率  $\kappa_1(p), \kappa_2(p)$  を算出する。ただし、 $\kappa_1(p) \geq \kappa_2(p)$  であり、それぞれに対応する主曲率方向は直交する。法線ベクトル  $m$  に基づくスカラー場  $\phi_m$  は、各フェース内部では区分的に線形な場となる。そのため、フェース上で直交する単位基底ベクトル  $e_1, e_2$  を介して、勾配ベクトルを算出する。

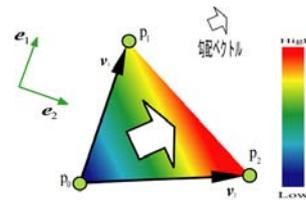


図 1 勾配ベクトル  $K_m(f)$

$f$  を三角形フェースの番号、 $p_0, p_1, p_2$  を三角形フェース  $f$  の頂点の座標とする。 $v_1, v_2$  は  $p_0$  から見た  $p_1, p_2$  の相対位置であり、 $e_1$  は  $v_1$  の単位ベクトル、 $e_2$  は  $e_1$  とフェースの法線  $n_f$  の両方に直交する単位ベクトルであ

る。ここで $f$ 内部の任意の点 $\mathbf{x}$ での値、 $\phi(\mathbf{x})$ を考え、次のようなフェース $f$ 内の相対位置のスカラー場 $g_m(\mathbf{v})$ を定義する。

$$g_m(\mathbf{v}) = \phi(\mathbf{x}) \quad \mathbf{v} = \mathbf{x} - \mathbf{p}_0 \quad (2)$$

ここで、 $a = \|\mathbf{v}_1\|$ 、 $b = \mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{e}_1$ 、 $c = \mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{e}_2$ とする。このとき、 $g_m(\mathbf{v})$ について

$$\begin{aligned} g_m(\mathbf{e}_1) &= g_m(\mathbf{v}_1) / a, \\ g_m(\mathbf{e}_2) &= g_m(\mathbf{v}_2) / c - g_m(\mathbf{v}_1) / b \end{aligned} \quad (3)$$

が成り立つ。スカラー場 $\phi(\mathbf{x})$ はフェース $f$ 内部で区分的に線形であり、勾配ベクトル $\mathbf{K}(f)$ は $f$ の内部で一定であるとする。は次式で現される。

$$\mathbf{K}_m(f) = g_m(\mathbf{e}_1)\mathbf{e}_1 + g_m(\mathbf{e}_2)\mathbf{e}_2 \quad (4)$$

このとき、 $\mathbf{K}_m(f)$ は $m$ の位置によって変動する。そのため、三角形フェースごとに、 $\mathbf{K}_m(f)$ の絶対値が最大になるような $m$ を探索する。ここで、単位法線ベクトルは常にガウス像 $S^2$ 上にある。ガウス像の極点、そのフェースの法線方向 $\mathbf{n}_f$ とすれば、ガウス像上で経度が等しい

$m$ では $\mathbf{K}_m(f)$ の値はほぼ等しくなる。そこで図2のように探索する範囲を、 $S^2$ 内で一定の緯度 $\alpha$  (本実験では $\alpha = \pi/2$ )をなす円周上の領域に限定する。

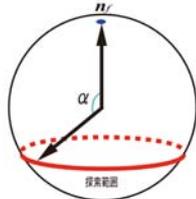


図2  $m$ の探索範囲

$\mathbf{K}_m(f)$ の絶対値が最大となると、主曲率方向が求められる。このときの $m$ を $m_1$ とし、 $\mathbf{K}_{m_1}(f)$ を主曲率方向 $\mathbf{K}_1(f)$ とする。ここで、次の場合分けを行い曲率の符号を決定する。本研究ではフェースが外に向かって凸である場合を正の曲率とする。

$$\begin{aligned} \text{if } m_1 \cdot \mathbf{K}_{m_1}(f) > 0 \\ \text{then } \kappa_1(f) &= -\|\mathbf{K}_{m_1}(f)\| \\ \text{else } \kappa_1(f) &= \|\mathbf{K}_{m_1}(f)\| \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_1(f) &= \mathbf{K}_{m_1}(f) / \kappa_1(f) \\ \mathbf{K}_2(f) &= \mathbf{K}_1(f) \times \mathbf{n}_f \end{aligned}$$

次に、 $\mathbf{n}_f$ を軸に $m_1$ を $\pi/2$ 回転させた方向 $m_2$ を用いて $\mathbf{K}_{m_2}(f)$ を求め、式(4)と同様の場合分けによって $\kappa_2(f)$ を計算する。ここで $\kappa_1(f) < \kappa_2(f)$ となった場合は、主曲率および、それに対応する方向を入れ替える。

これらの主曲率方向ベクトルと逆向きのベクトルを $\mathbf{K}_3, \mathbf{K}_4$ としておく。

$$\mathbf{K}_3 = -\mathbf{K}_1, \quad \mathbf{K}_4 = -\mathbf{K}_2 \quad (5)$$

$h(f) = \kappa_1(f) - \kappa_2(f)$ をフェース $f$ における特徴量と定義する。まず、頂点の主曲率とその方向を近傍フェースの平均として、値を割り当てる。

本研究で用いる主曲率ベクトルの推定法は、局所的な特徴に非常に敏感であり、非常に小さな非等方性も検出することができる。しかし、ノイズの影響を受けやすいため、後述のフィルタリング処理によってノイズを軽減する。Bunnyモデルにおいて、この手法で算出した主曲率 $\kappa_1$ と $\kappa_2$ の値をそれぞれマップした結果をそれぞれ図3の(a)と(b)に示す。

## 2. 2 曲率テンソル

頂点 $p$ において算出された主曲率を $\kappa_1(p)$ 、 $\kappa_2(p)$ 、それぞれに対応した主曲率方向をそれぞれ $\mathbf{K}_1(p)$ 、 $\mathbf{K}_2(p)$ とする。このとき点 $p_0$ の曲率テンソル $\mathbf{T}(p_0)$ は、点 $p_0$ とその近傍頂点 $p_i$  ( $i=1, \dots, N$ )の値から、次式で算出することができる。

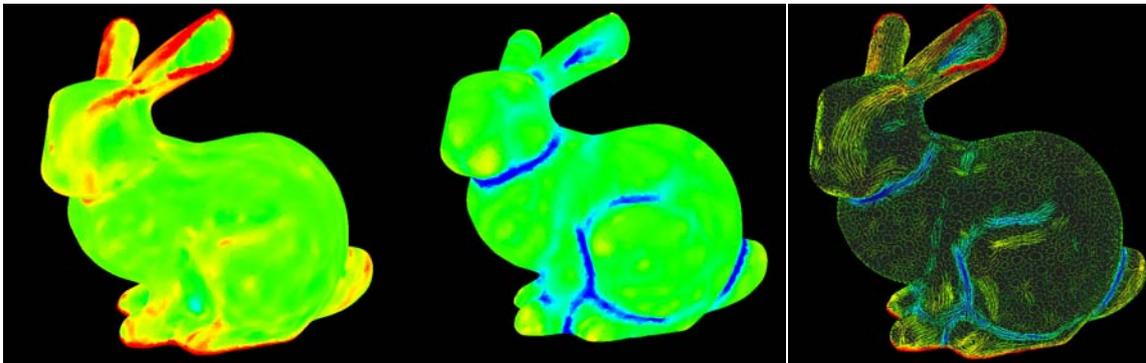


図3 (a)第1主曲率 $\kappa_1$ と(b)第2主曲率 $\kappa_2$  値が大きい場所を赤く、小さい場所を青く表示している。

また、算出した主曲率方向は(c)に示す。

$$\begin{aligned}\alpha_i &= \tan^{-1}\{\| \mathbf{K}_i(\mathbf{p}_i) \times \mathbf{K}_i(\mathbf{p}_0) \| / \mathbf{K}_i(\mathbf{p}_i) \cdot \mathbf{K}_i(\mathbf{p}_0)\} \\ \mathbf{E}(\mathbf{p}_i) &= \begin{bmatrix} \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \\ \mathbf{T}(\mathbf{p}_0) &= \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N \mathbf{E}^T(\mathbf{p}_i) \begin{bmatrix} \kappa_1(\mathbf{p}_i) & 0 \\ 0 & \kappa_2(\mathbf{p}_i) \end{bmatrix} \mathbf{E}(\mathbf{p}_i)\end{aligned}\quad (6)$$

### 2. 3 テンソル場と縮退点

主曲率方向に基づいて、任意の種数のモデル表面を非等方再メッシュ化する場合、種数1のモデルなどの場合を除いて、ほぼすべてのモデルに四辺形のフェースを張れない点が現れる。これらの点はベクトル場には特異点として、テンソル場では縮退点として現れる。本報告では、テンソル場の縮退点からこれらの点を検出する。点 $\mathbf{p}$ における曲率テンソルを $\mathbf{T}(\mathbf{p})$ とする。

$\mathbf{T}(\mathbf{p})$ は2階の対称行列であるため、等方成分行列 $\mathbf{S}$ と非等方成分行列 $\mathbf{A}$ に分解することができる。

$$\mathbf{T} = \mathbf{S} + \mathbf{A} = \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{pmatrix} \quad (7)$$

このとき、 $\mathbf{A}$ の2つの固有値は $+\mu$ と $-\mu$ であり、 $\mathbf{T}$ と $\mathbf{A}$ の固有ベクトルはともに、

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \cos(\theta + \pi/2) \\ \sin(\theta + \pi/2) \end{pmatrix}$$

となる。この2つ固有ベクトルは、それぞれ主曲率方向に対応している。行列 $\mathbf{A}$ が縮退する場所では、テンソル場の非等方性が失われる。Zhang等の手法などで

は曲率テンソル $\mathbf{T}$ において、行列 $\mathbf{A}$ が縮退する点 $\mathbf{p}$ を縮退点としている。

本研究では、小さな特徴にも敏感な主曲率推定法を用いて、小さな特徴の方向も重視する。さらに、主曲率方向がスイッチする場所で縮退点を発生させないために、次のようなテンソル場 $\mathbf{T}^*$ をつくる。 $j=1\sim 4$ のうち内積 $\mathbf{K}_1(\mathbf{p}_0) \cdot \mathbf{K}_j(\mathbf{p}_i)$ が最大となる $\mathbf{K}_j(\mathbf{p}_i)$ を $\mathbf{K}(\mathbf{p}_i)$ としてテンソルに累積していく。

$$\begin{aligned}\theta_i &= \tan^{-1}\{\| \mathbf{K}(\mathbf{p}_i) \times \mathbf{K}(\mathbf{p}_0) \| / \mathbf{K}(\mathbf{p}_i) \cdot \mathbf{K}(\mathbf{p}_0)\} \\ \mathbf{E}^*(\mathbf{p}_i) &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} \\ \mathbf{T}^*(\mathbf{p}_0) &= \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N \mathbf{E}^{*T}(\mathbf{p}_i) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{E}^*(\mathbf{p}_i)\end{aligned}\quad (8)$$

このテンソル $\mathbf{T}^*(\mathbf{p}_0)$ の非等方成分の固有値 $\mu$ が一定値より小さくなると、頂点 $\mathbf{p}_0$ を縮退点とする。

### 3 フィルタリング

2.1で紹介した手法で推定した主曲率方向にはノイズが多く含まれ、再メッシュ化の障害と特異点も増加してしまう。そのため、いくつかのフィルタリング処理を施し、再メッシュ化に適したベクトル場を作る。

#### 3. 1 埋め込みフィルタ

本手法で算出した特徴量 $h(f)$ は、ノイズも特徴として検出してしまう可能性がある。従って我々は、次の

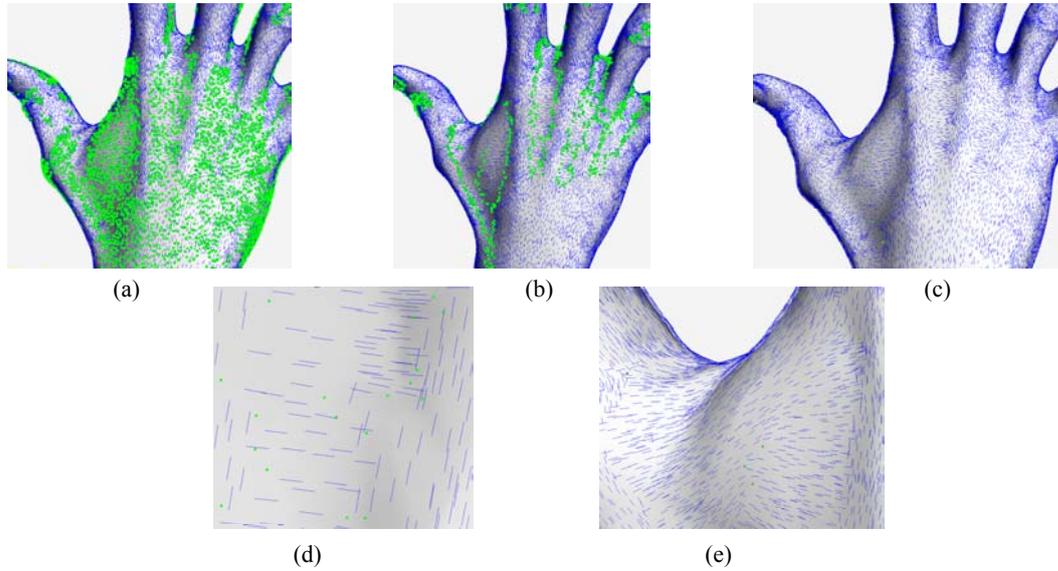


図4 縮退点の検出 (a) 曲率テンソルにおいて、非等方成分行列の固有値が小さくなる点をプロット。(b) 主曲率を $\pm 1$ に固定したテンソルの縮退点。(c) 本手法の式(8)のテンソルで検出した縮退点。

(d) 中央上の図の拡大図

(e) 右上の拡大図

ような手法でノイズを除外する。

一定以上の特徴量  $h(f)$  が認められた場所から、主曲率ベクトルに沿って、次のいずれかの領域に差し掛かるまで、ストリームライン(後述)を引く。

- テンソル  $A$  が縮退する場所(縮退点)
- 第一主曲率と第二主曲率が等しい場所(臍点)

また、逆の方向にも同様な手続きで SL を引く。2本の SL の始点から終点の長さの合計が一定値以上ならば、特徴として考える。逆に、一定値以下ならばノイズと見なす。ノイズの場合、ストリームラインが通るフェースの特徴量  $h(f)$  を 0 とする。また、縮退点近傍の特徴量の値も 0 にする。特徴量が 0 となるフェースには、それに隣接する周囲のフェースから主曲率方向を伝播させ、値を埋め込む。

### 3. 2 平滑化フィルタ

主曲率テンソル  $T(p_0)$  の固有値と固有ベクトルは、点  $p_0$  における主曲率と主曲率方向に対応している。そのため、 $p_0$  の近傍の範囲をある程度大きくとれば、主曲率テンソルの固有値問題を解くことで、平滑化された主曲率方向のベクトル場を得ることができる。

元の主曲率方向  $K_1(p_0)$  を、法線ベクトル  $n(p_0)$  を軸に  $T(p_0)$  の固有ベクトルが示す角度だけ回転させることで、フィルタリング後の主曲率方向が求められる。

### 3. 3 インタラクティブ操作

通常、四辺形再メッシュ化は主曲率方向に基づいて行われる。しかし、動くモデルを作る場合などでは、必ずしも主曲率方向だけが重要だとは限らない。デザイナーが動きに応じて、メッシュの方向を決める場合もある。また、フィルタリングよりも、ユーザーが直接手を加えた方が、良好な結果が得られる場合も考えられる。そのため、インタラクティブな処理でベクトル場を変更可能なステップを設ける。

## 4 ストリームライン

3次元表面上をたどり、各点における接線の方向が主曲率方向と等しい曲線をストリームライン(SL)と呼ぶ。我々の研究では、表面上の主曲率方向のベクトル場は、三角形フェースごとに区分的線形な場であるので、下図のように SL は折れ線で構成されている。

### 4. 1 ストリームラインの計算

まず、フェース  $f_0$  上の 1 点を始点とする。進行方向はそのフェースの 4 つの主曲率方向のうちのどれかである。SL は、三角形フェース  $f_i$  上を直進し、フェースのエッジ上に差し掛かったとき、次の三角形フェース

$f_{i+1}$  の 4 つの主曲率方向  $K_j(f_{i+1})$  のうち、フェース  $f_i$  での進行方向に最も近い方向に折れ曲がる。SL が特異点、または、メッシュの端に差し掛かった場合、この処理を終了する。

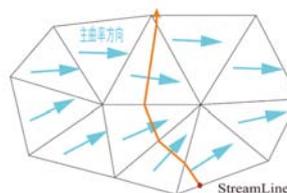


図5 ストリームライン

### 4. 2 閉じたストリームライン

デザイナーが作った 3D モデルでは、円筒領域などでメッシュの連結が輪を作っていることがわかる。しかし、円筒側面などに上記の手法で SL を構築すれば、SL は輪ではなく、らせんを描くことが多い。本手法では、間隔の短いらせんを検出し、次のような処理を行うことで閉じた SL を求める。図 6 の(a)がらせんを検出した点、(b)が閉じた SL である。

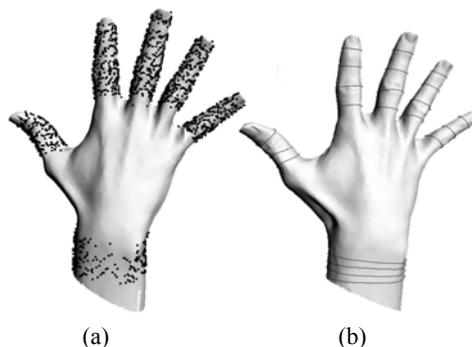


図6 閉じた SL の検出

上記の手法で構築した SL がらせんとなった場合、SL の適当な近傍領域において、次のような 2 次元パラメタリゼーションを行う。まずこの SL の近傍領域内のある頂点  $p$  のパラメータを  $Vp^+(p) = (x_1, y_1)$  とする。ここで、 $x_1$  は垂線と SL の交点を始点から SL に沿って計測した正の距離とする。 $y_1$  は要素からラインに下ろした垂線の符号付きの長さとする。このときラインの近傍にある頂点  $p$  がラインの進行方向に向かって右側にある場合は正、左側にある場合は負とする。次に同じ始点から逆の方向に SL を取る。同様に、この SL の近傍でもパラメータ  $Vp^-(p) = (x_2, y_2)$  を計算する。このとき  $x_2$  は負の距離であり、 $y_2$  の値は、進行方向に向かって左側が正とする。

頂点  $p$  のパラメータ  $Vp(p) = (x, y)$  を次のように定義する。頂点  $p$  が両方の SL の近傍に含まれるとき、

$$Vp(p) = ((x_1 - x_2)/2, (T - x_1)y_1 + (T - (-x_2))y_2) \quad (9)$$

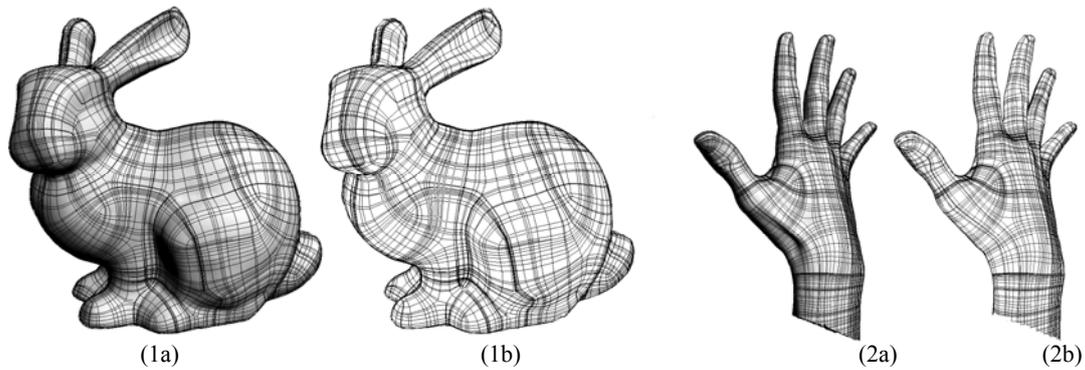


図6 ストリームラインの表示と再メッシュ化の結果

ここで  $T$  は一周の長さである。  $P$  がどちらか片方の SL の近傍にしか属しない場合は、パラメータをそのまま代入する。これらのストリームラインに周期性がある場合、  $y$  の等値線は滑らかな閉じたストリームラインをなす。

#### 4. 3 ストリームラインの始点と間隔

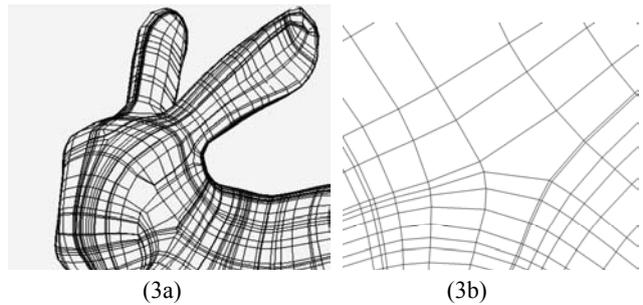
すべてのフェースを特徴量  $h(f)$  の値においてソートする。  $h(f)$  の値が大きい順に、フェースの重心を SL の開始点とし、主曲率の絶対値が小さい方向に SL を引いていく。ただし、始点の近傍にすでに他の SL がある場合、SL を引かない。SL が、らせんを描く場合は 4.2 の処理によって、閉じた SL を作る。

#### 5. 再メッシュ化の実行

本手法では、メッシュ上に描き込まれたストリームラインの交点を検出し、それらを頂点とするメッシュを生成する。各 SL 上の点には SL のナンバーと開始点からの距離が割り振られる。  $SL_i$  と  $SL_j$  が交点  $V_k$  で交差する場合、交点  $V_k$  から  $SL_i$  と  $SL_j$  をそれぞれ前後にたどって、  $V_k$  に隣接する交点を探索する。  $V_k$  に隣接する交点  $V_l$  があれば、有向エッジ  $E(k,l)$  を定義する。

すべての有向エッジ  $E$  が定義されたら、向き沿って  $E$  をたどっていき、1枚のフェースを一周する。エッジ  $E$  で張られた経路は、十字、もしくは T 字の分岐となる。この経路上を左側の壁伝いに最初のエッジに戻ってくるまで進む。一定数のエッジ上を進んで最初のエッジに戻ってきた場合、フェースを定義する。

本報告では、Bunny モデルと Hand モデルで再メッシュ化の実験を行った。モデル上に引いたストリームラインを図 6 の(1a)(2a)、再メッシュ化した結果を(1b)(2b)にそれぞれ示す。また、(3a)は(2a)の頭部の拡大図、(3b)は(2b)の手のひらの部分の拡大図である。



#### 6. 考察

本報告で提案した手法は、主曲率とその方向の算出方法として、良好な手法である。さらに、フィルタリング処理によって、Bunny の胸の部分など、明確な主曲率方向を示さない等方領域にも四辺形メッシュを張ることができた。また、閉じた SL を等値曲線によって引くことにも成功した。今後の課題としては、ストリームラインの開始点や、ラインの間隔の効果的な指定が必要である。また、頂点位置の補正や不要なエッジの折りたたみなどを加えることでより良い結果がもたらされると考えられる。さらに、インタラクティブな要素についても研究を続けていきたい。

#### 参考文献

- [1] P.Alliez, D.Cohen-Steiner, O.Devillers, B.Levy, M.Desbrun, "Anisotropic Polygonal Remeshing," Proc. SIGGRAPH '03
- [2] 金井崇,鈴木 宏正,"対話的なメッシュの均一再メッシュ化手法", グラフィクスと CAD / Visual Computing 合同シンポジウム, 6 月, pp.91-96, 2001
- [3] M.Marinov, L.Kobbelt, "Direct Anisotropic Quad-Dominant Remeshing", In Proc.Computer Graphics & Application, pp.207-216, 2004
- [4] N.Ray, W.Li, B.Lévy, I-Alice, A.Sheffer, "Periodic Global Parameterization", ACM Transaction on Graphics, volume 25, Page:1460-1485, 2006
- [5] D.Cohen-Steiner, J.M.Morvan, "Restricted Delaunay Triangulations and Normal Cycle", Proc. 19th, ACM Symp-Computational Geometry, 2003
- [6] Y.L.Yang, Y.K.Lai, S.M.Hu, H.Pottmann, "Robust Principal Curvatures on Multiple scales", 4th Eurographics Symposium on Geometry processing, 2006
- [7] "Interactive Tensor Field Design and Visualization on Surfaces". IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.13, pp 94-107, January, 2007.
- [8] T.Delmarcelle and L.Hesselink, "The Topology of Symmetric Second-Order Tensor Fields," Proc. IEEE, 1994
- [9] P.Alliez, "Recent Advances in Remeshing of Surfaces", in Shape Analysis and Structuring, ed. By L.E.Floriani, M.Spagnuolo, pp 53-82