

# 意匠測定データに対する高品質セグメンテーション (第4報)

## — セグメント領域と境界の再構築 —

日本ユニシス株式会社 土江 庄一, 豊田工業大学 東 正毅

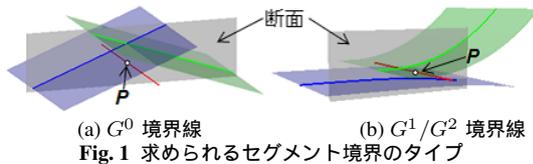
High-quality segmentation of scanned data for industrial design object  
— Reconstruction of segment mesh and its boundary —

Nihon Unisys, Ltd. Shoichi TSUCHIE, Toyota Technological Institute Masatake HIGASHI

In our previous report, we proposed a method to generate segment boundaries which are determined as intersection/contact curves between two approximated surfaces, because mesh vertices in scanned data do not necessarily exist on the boundaries due to data noise or deficiency in measurement. Based on it, we reconstruct the segments, each of which is a region with closed boundary in this study. Each region is represented by high-quality triangle meshes, and its boundary vertices are located on the segment boundaries. We demonstrate the effectiveness of our method by applying it to a piece of real-world scanned data.

### 1. 緒言

測定データに対するセグメンテーションでは, デザイナーの意図する面に対応した曲面モデルを生成するために, 構成面の違いを検出してセグメント (領域) を定義しなければならないが, 測定データのメッシュ頂点は必ずしもセグメントの境界点ではなく, データの誤差や欠損のため滑らかな境界が得られない. そこで, 前報ではセグメント毎に曲面フィッティングを行い, 両側のセグメント構成曲面により境界を生成する方法を提案した (Fig.1).  $G^1/G^2$  接続部では両曲面は近接しているが厳密に接触するように作成されていないので,  $G^0$  境界を相貫線として求めることに比べ, 接触計算の取り扱いが困難であった.



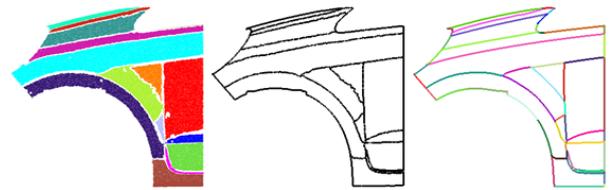
(a)  $G^0$  境界線 (b)  $G^1/G^2$  境界線  
Fig.1 求められるセグメント境界のタイプ

本報では, 前報の考えに基づいて  $G^1/G^2$  セグメント境界の定義方法を見直し, セグメント内部の領域データを再構築して, 全体として整合性のとれた高品質なメッシュデータを生成する方法を提案する.

### 2. セグメントの生成

前報では, 以下の手順でセグメント生成を行った:

1. 頂点クラスタリング<sup>1)</sup>の結果から領域拡張によりセグメント内部領域を生成する (Fig.2(a)). 境界付近の頂点に関しては, 各セグメント内部領域に対し曲面フィッティングを行い, 面に載っているか否かの判断をもとに領域を拡張して隣との隙間を埋める.
2. 各セグメントから外周境界線を抽出する (Fig.2(b)).
3. 領域の共有辺毎に境界線を分割して境界ネットワークを構築し, 平滑化する (Fig.2(c)).
4. セグメント構成曲面を利用してセグメント境界を求める. 手順 4. の曲面式による境界計算では, 2 面が交差する場合 ( $G^0$  境界) と接する場合 ( $G^1/G^2$  境界) があるが, 接する場合



(a) セグメント内部領域 (b) 外周境界線 (c) 境界線分割と平滑化  
Fig.2 セグメント境界線の作成手順

の隣合う 2 曲面は近接しているが厳密に接触しているとは限らない. そこで, お互いの面の接触対応線を求め, フィレット側の境界を基準面側の線に合わせる. 接触対応線は, 相互の面が最も近づいている線であるが, どのように定義するかが問題である. 二つの案を下記に示す:

- a) 基準面の法線方向でフィレット面までの距離を考えた曲面の尾根谷線を接触対応線とする. (前報)
- b) 接触対応線のほぼ直交方向の断面を考え (Fig.1(b)), 二つの断面線での最小距離の点が移動する軌跡とする.

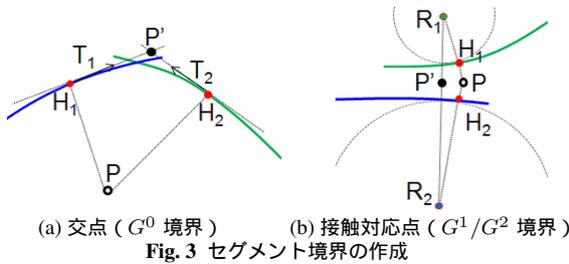
本報では b) を考える.

### 3. 提案手法

#### 3.1 セグメント境界の計算

前節のセグメントの生成手順 3. で得られた境界線上の点  $P$  の接線ベクトルを法線とする平面とセグメント構成曲面との断面線を考える (Fig.1, Fig.3). 点  $P$  での両断面線への垂線の足  $H_1, H_2$  (Fig.3) における接線ベクトル  $T_1, T_2$  の交差角を  $\theta$  とし, 両接線ベクトルを平行とみなすか否かの閾値を  $\theta^*$  する.

1.  $|\cos \theta| < \cos \theta^*$  の場合:  
両接線の交点  $P'$  で点  $P$  を更新し, 繰返し計算を行う (Fig.3(a)).
2.  $|\cos \theta| \geq \cos \theta^*$  の場合:  
 $H_1, H_2$  での曲率を  $\kappa_1, \kappa_2, \varepsilon > 0$  として,
  - i) 曲率  $\kappa_1 * \kappa_2 < -\varepsilon$   
 $H_1, H_2$  における曲率中心  $R_1, R_2$  を通る直線への最短点  $P'$  で点  $P$  を更新し, 繰返し計算を行う (Fig.3(b)).
  - ii) 曲率  $\kappa_1 * \kappa_2 \geq -\varepsilon$   
垂線の足  $H_1, H_2$  の中点で点  $P$  を更新する.

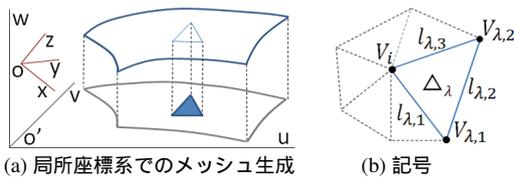
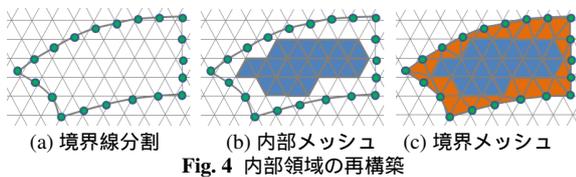


3.2 セグメント内部領域の再構築

セグメント分割された各領域を平面近似して、得られた平面を  $(u, v)$ 、法線方向を  $w$  とする局所座標系  $(u, v, w)$  を設定し、 $(u, v, w=0)$  の空間で領域データを再構築する：

1. 境界線を指定ピッチで分割する (Fig.4(a))
2. 正三角形格子から境界線の内部に含まれる三角形を抽出する (Fig.4(b))
3. 境界線との隙間を三角形で埋める (Fig.4(c))
4. 境界内部の三角形の頂点を曲面に投影 (Fig.5(a)) あるいは曲面への最短点を求める

ここで得られた局所座標系でのセグメントを元の座標系  $(x, y, z)$  に変換し、最終的なセグメントを得る。



上記の手順 3. において、境界上の頂点の配置バランスにより生じる境界付近の三角形の歪を緩和するために、境界頂点を拘束して内部頂点を以下の式で移動する処理を追加する：

$$V_i^{(t+1)} \leftarrow V_i^{(t)} + \frac{1}{\sum w_\lambda} \sum_{\lambda \in \Lambda(i)} w_\lambda (V_\lambda^* - V_i^{(t)}) \quad (1)$$

$$w_\lambda = \frac{l_{\lambda,1}^2 + l_{\lambda,2}^2 + l_{\lambda,3}^2}{A_\lambda} \quad (2)$$

ここで、 $V_\lambda^* = (V_{\lambda,1}^{(t)} + V_{\lambda,2}^{(t)})/2$ 、 $A_\lambda$  は  $V_i$  に接続する  $\lambda (\in \Lambda(i))$  番目の三角形の面積である。式 (2) の逆数を  $4\sqrt{3}$  倍した  $Q(\Delta_\lambda) \equiv \frac{4\sqrt{3}A_\lambda}{l_{\lambda,1}^2 + l_{\lambda,2}^2 + l_{\lambda,3}^2}$  は  $Lo^2$  による三角形の品質評価式として知られ、0(退化)と 1(正三角形)の間の値をとる。

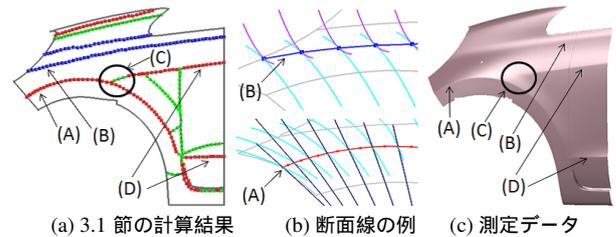
4. 結果

接線の交差角  $\theta$  の閾値  $\theta^*$  は  $3[\text{deg}]$ 、セグメント再構築時の辺長を  $15[\text{mm}]$  として実験を行った。

4.1 セグメントの境界

結果を Fig.6 に示す。赤線は  $\theta > \theta^*$  の境界線を示し、断面線の交点を繋いだ線 ( $G^0$  境界線) となっている (Fig.6(b) の下段)。また、 $\theta \leq \theta^*$  の境界線は青線 (曲率が異符号, Fig.6(b) の上段) と緑線 (それ以外) で示している。Fig.6(c) に示す測定

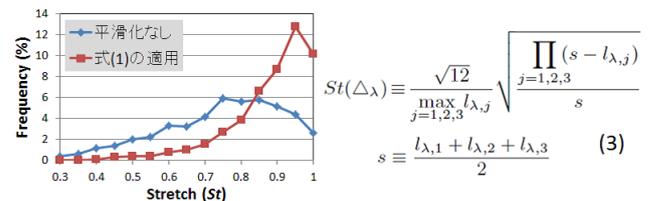
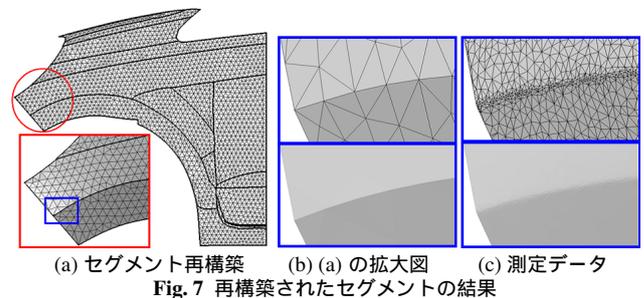
データのシェーディング図と比較すると、シャープエッジ部の (A) と (D) は正しく判定できており、 $G^1/G^2$  接続部の (C) についても妥当な結果が得られている。



4.2 セグメント内部領域の再構築

結果を Fig.7 に示す。全体的に均一な三角形でセグメントが再構成され、三角形の辺がセグメント境界に沿っている。

式 (1) による効果を検証するために、セグメント境界に接する三角形の品質評価を行った結果を Fig.8 に示す。評価には、CAE 分野で利用されている<sup>3)</sup> 図中の式 (3) を使用した。横軸は三角形の歪度 (0:退化, 1:正三角形) を示し、縦軸は三角形要素の割合を示す。セグメント境界付近の三角形は、3.2 節の手順 3 の生成過程により歪の大きな三角形が発生しやすいが、式 (1) の平滑化処理によって大幅に改善されていることがわかる。



5. 結言

本報では、頂点クラスタリングの結果からセグメント境界を生成し、セグメント内部領域のデータを再構築する方法を示した。各セグメントは滑らかな境界線をもつ高品質な三角形で表現することができた。

今後は、境界線ネットワークの曲線端末の接続性の考慮や、境界と接する三角形の正則性を保証するなどの対応を検討する。

参考文献

- 1) S.Tsuchie, T.Hosino and M.Higashi: High-quality vertex clustering for surface mesh segmentation using Student-t mixture model, Computer-Aided Design **46**, p.69-78, 2014
- 2) S.H.Lo: Generating quadrilateral elements on plane and over curved surfaces, Computers and Structures **31**(3), p.421-426, 1989
- 3) 伊達宏昭, 金井 理, 他: 細分化と簡略化に基づく三角形メッシュの品質改善, 精密工学会誌, **71**(2), (2005) 223-227.