

# グラフベースのフィーチャ表現を用いたメッシュモデル間配置決定に関する研究

北海道大学大学院情報科学研究科 ○佐藤 健介, 伊達 宏昭, 小野里 雅彦, 田中 文基

## 要 旨

複数メッシュモデル間の相対配置決定は、メッシュベースのアセンブリモデル生成や形状モデリングにおいて重要である。本研究では、グラフベースのフィーチャ表現に基づく、複数メッシュモデル間の組合せ可能性検査、並びに相対配置決定を行う手法を提案する。

### 1. はじめに

近年、ものづくりにおけるメッシュモデルの利用が増え、さらに高度なメッシュモデルのハンドリング技術が求められている。その中で、メッシュベースのアセンブリモデル生成や形状モデリングにおいて、複数メッシュモデル間の相対配置決定は重要である。しかし、メッシュは工学的意味を持たないパッチの集合のため、そのままではモデルの大局的・機能的認識が不可能であり、複数メッシュモデル間の組合せ可能性検査・配置決定演算等が困難となるといった問題点がある。そこで本研究では、グラフベースのフィーチャ表現に基づく、複数メッシュモデル間の組合せ可能性検査、並びに相対配置決定を行う手法を提案する。

### 2. 提案手法の概要

本研究では、与えられた2つのメッシュモデルに対し、モデルの部分領域間の接触可能な組合せを抽出し、接触を実現するモデル間の相対配置を決定する手法を提案する。

提案手法は以下の3つのステップから成る(図1)。

- 1 それぞれの入力メッシュモデルに対し、グラフベースのフィーチャ表現を生成する。
- 2 フィーチャを利用し、入力メッシュモデル間の接触可能な組合せを抽出する。
- 3 抽出された組合せに対し、姿勢変換と投影に基づくメッシュモデル間相対配置決定を行う。

なお、本報告で扱うメッシュモデルは、計測ノイズやデータ欠損を含まず、接触面が平面または円筒面で構成される三角形メッシュモデルとする。

### 3. グラフベースのフィーチャ表現を用いたメッシュモデル間配置決定

#### 3.1 グラフベースのフィーチャ表現

本研究では、メッシュモデルの機能単位での認識を可能にするため、入力メッシュモデルに対し、グラフベースのフィーチャ表現を生成する。本研究で提案するフィーチャとは、部分領域の抽象的な幾何学的特徴と、部分領域間の隣接関係であり、それらを領域接続グラフとして表現する。領域接続グラフは以下の手順で構築する。

- 1 メッシュモデルの領域分けを行う(本報告では、二面角評価に基づく手法を使用)。
- 2 Alliez ら<sup>1)</sup>が提案している手法を用い、領域内各頂点  $i$  において、主曲率  $\kappa_{\max}^i, \kappa_{\min}^i$  と、主方向ベクトル  $\mathbf{e}_{\kappa_{\max}}^i, \mathbf{e}_{\kappa_{\min}}^i$ 、法線方向ベクトル  $\mathbf{e}_n^i$  を求める。
- 3 モデルの領域をノード、領域間の隣接をアークとした領域接続グラフを作る。

領域接続グラフのノードには、領域形状を抽象的に表現するものとして、主曲率重心  $\mathbf{g}^r$  (式(1)), 主曲率分散  $\sigma^r$  (式(2)), 領域代表ベクトル  $\mathbf{e}^r$  を情報として持たせる。

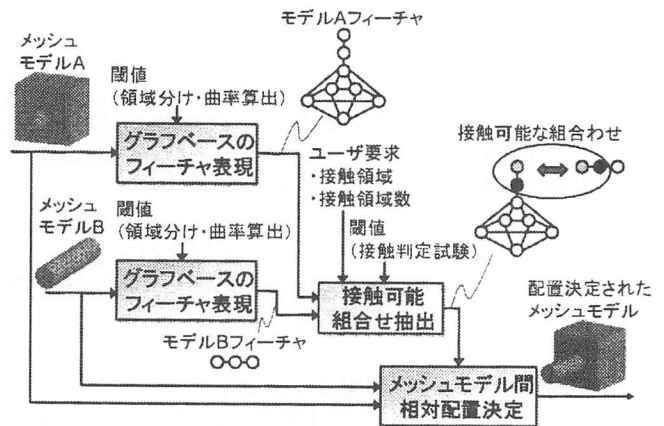


図1 提案手法の流れ

$$\mathbf{g}^r = (\overline{\kappa_{\max}^r}, \overline{\kappa_{\min}^r}) = \left( \frac{1}{|V^r|} \sum_{k \in I^r} \kappa_{\max}^k, \frac{1}{|V^r|} \sum_{k \in I^r} \kappa_{\min}^k \right) \quad (1)$$

$$\sigma^r = \frac{1}{|V^r|} \sum_{k \in I^r} \{ (\kappa_{\max}^k - \overline{\kappa_{\max}^r})^2 + (\kappa_{\min}^k - \overline{\kappa_{\min}^r})^2 \} \quad (2)$$

ここで、 $V^r$  は領域  $r$  に含まれる頂点集合、 $|V^r|$  は領域  $r$  に含まれる頂点の数を意味する。また、 $\kappa_{\max}^r < \varepsilon_\kappa$  となる領域を平面、 $\kappa_{\max}^r \geq \varepsilon_\kappa$  となる領域を円筒面と認識する。ここで、 $\varepsilon_\kappa$  は最大主曲率の絶対値に対する閾値である。領域代表ベクトル  $\mathbf{e}^r$  は、平面と認識された領域では法線ベクトル、円筒面と認識された領域では最小主曲率に対応する主方向ベクトル(円筒軸方向)として設定する。ノードの情報は、領域の接触可能判定や、投影による配置の基準ベクトルとして利用する。

領域接続グラフのアークには、領域  $m, n$  間の隣接角度  $\theta_{mn}$  (式(3)) を属性情報として持たせる。

$$\theta_{mn} = \frac{1}{|E^{mn}|} \sum_{e \in E^{mn}} \theta^e \quad (3)$$

ここで、 $E^{mn}$  は領域  $m, n$  間のエッジ集合、 $|E^{mn}|$  は領域  $m, n$  間のエッジの本数、 $\theta^e$  はエッジ  $e$  を挟む三角形間の二面角である。アークの情報は、隣接領域の接触可能判定のために利用する。

#### 3.2 接触可能組合せ抽出

3.1 のフィーチャ表現を利用し、2つのメッシュモデル間の接触可能な組合せを抽出する。組合せ抽出はモデル A と B のノードのペアを入力として行う。このペアは、ユーザが接触領域をしている場合はその領域に対応するノードのペアとし、指定のない場合は全ノードの組合せから得られる全てのペアとする。なおこの節以降では、モデル A, B の領域を表す記号には左肩に A, B を加えて表記する。組合せ抽出は次の流れで行う(図2)。

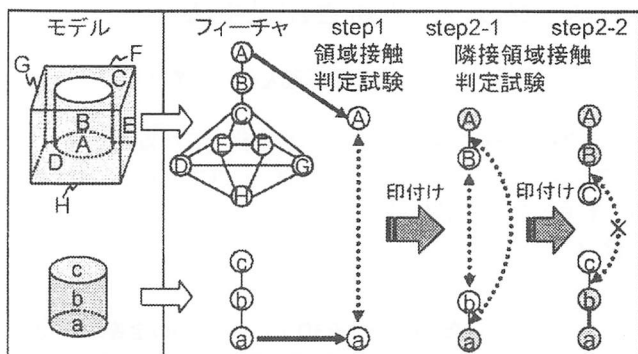


図2 接触可能組合せ抽出の流れ

- 1 モデル A とモデル B のノードのペアに対し、領域接触判定試験を行う。この試験は、それぞれのノードに対応する領域が接触可能かどうかを条件式(4),(5)により判定する試験である。条件式を満たすノードの組合せに印を付け、次の処理2に進む。条件式を満たさない組合せは破棄する。

$$\left| \kappa_{\max}^{i_r} + \kappa_{\max}^{B_r} \right| < \varepsilon_{\kappa_{\max}}, \quad \left| \kappa_{\min}^{i_r} + \kappa_{\min}^{B_r} \right| < \varepsilon_{\kappa_{\min}} \quad (4)$$

$$\left| \sigma^{i_r} - \sigma^{B_r} \right| < \varepsilon_{\sigma} \quad (5)$$

ここで、 $\varepsilon_{\kappa_{\max}}$  は最大主曲率平均  $\overline{\kappa_{\max}^{i_r}}$  の和に対する閾値、 $\varepsilon_{\kappa_{\min}}$  は最小主曲率平均  $\overline{\kappa_{\min}^{i_r}}$  の和に対する閾値、 $\varepsilon_{\sigma}$  は主曲率分散  $\sigma^r$  の差に対する閾値である。

- 2 接触判定試験に合格したノードの隣接アーク・ノードを試験対象に追加し、隣接領域接触判定試験を行う。この試験は、追加された隣接領域が接触可能かどうかを判定する試験であり、隣接アークに対する条件式(6)と、条件式(6)を満たすアーク先のノードに対する条件式(4),(5)を用いて行う。これらの条件式を満たすノード・アークの組合せに印をつける。条件式を満たさない組合せは破棄する。

$$|\theta_{i_{mn}} + \theta_{B_{mn}}| < \varepsilon_{\theta} \quad (6)$$

ここで、 $\varepsilon_{\theta}$  は隣接領域間角度  $\theta_{mn}$  の和に対する閾値である。

- 3 条件式を満たす組合せがなくなるまで、2の処理を繰り返す。印の付けられた全ての組合せを、接触可能な組合せとして抽出する。

### 3.3 メッシュモデル間相対配置決定

抽出された接触可能組合せに対し、実際にモデルを移動させることで、モデル間の相対配置を決定する。本研究では領域代表ベクトルに基づく姿勢変換と投影により、モデルを移動させて相対配置を決定する。以下、モデル A の領域  $A_r$  とモデル B の領域  $B_r$  が接触可能と判定されたものとして、相対配置決定の流れを示す(図3)。

#### (a) 平面接触ケース

- 1  $e^{B_r} = -e^{A_r}$  となるようにモデル B の姿勢を変換する。
- 2  $A_r, B_r$  を、 $e^{B_r}$  に平行で互いに直交する2つの平面へ順次投影し、平面間距離  $d$  を求める。
- 3 モデル B を  $e^{B_r}$  方向へ  $d$  だけ平行移動させる。

#### (b) 円筒面接触ケース

- 1  $e^{B_r} = e^{A_r}$  または  $e^{B_r} = -e^{A_r}$  となるようにモデル B の姿勢を変換する。

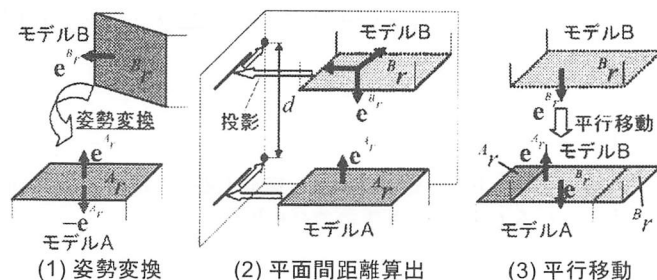


図3 平面接触ケースにおける相対配置決定の流れ

- 2  $A_r, B_r$  を、 $e^{B_r}$  に垂直な平面へ投影する。
- 3 平面上の直交座標系を定義し、座標系の各軸方向に対する円筒軸位置間の距離  $d_u, d_v$  を求める。
- 4 モデル B を平面の直交座標系の各軸方向へ、算出した距離  $d_u, d_v$  だけ平行移動させる。

さらに接触可能な隣接領域が存在する場合は、既に接触している領域の拘束を維持しながら、相対配置を決定していく。

### 4. 提案手法の適用結果

図4,5に提案手法の適用結果を示す。図4はメッシュモデル間の接触可能な全組合せ抽出の例であり、接触可能な全組合せが抽出されたことを確認出来た。図5はハンドルとストッパーの配置例であり、目的の配置を出力することに成功した。

### 5. まとめ

本報告では、グラフベースのフィーチャ表現を用いたメッシュモデル間配置決定手法を提案し、比較的単純ではあるが実用上よく現れる例題に対して、メッシュレベルでの組合せ可能性判定と相対配置決定が可能であることが確認できた。今後の課題としては、モデルの自由度が残るケースにおける出力の提示法や、効率的な干渉検出法の確立が挙げられる。

### [参考文献]

- [1] Pierre Alliez, et.al. : Anisotropic Polygonal Remeshing, Proc. SIGGRAPH2003, pp. 485-493 (2003)

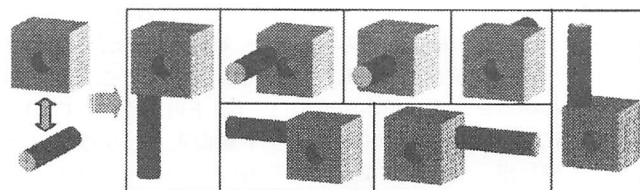


図4 適用結果(接触可能な全組合せ抽出)

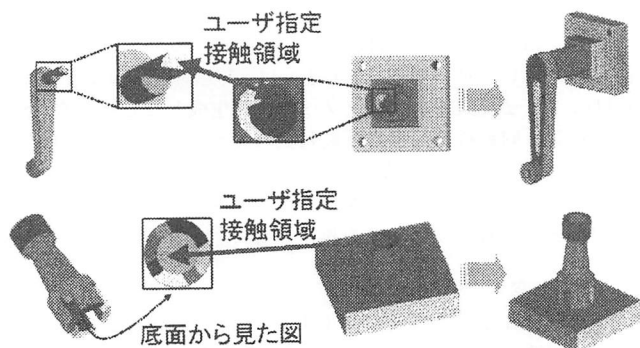


図5 適用結果(上図はハンドル、下図はストッパー)