

スウィープ型フィーチャの認識に基づく測定メッシュからのCADモデル自動生成

北海道大学 ○山下憲史, 溝口知広, 金井 理

近年のリバースエンジニアリング (RE) では, CAD システムで定義される形式での CAD モデル再生が課題である. 本研究では, 測定メッシュの法線ガウスイメージの解析と市販の CAD システムとの連携により, 測定データからスウィープ型フィーチャを抽出することで CAD システムでのモデリング手順を推定し, 整形された CAD モデルを得る RE システムの開発を目的とする.

1. はじめに

接触型および非接触型の三次元形状データ測定器の発達, CAD システムの性能向上に伴うリバースエンジニアリング (RE) の応用範囲が拡大している. しかし従来の RE においては, 測定メッシュから得られる CAD モデルの定義方法が, 設計者が CAD 上で定義するようなフィーチャーベースのモデルとは異なる形式のものが多く, その後のモデルの修正, 変更が困難であるという問題点があった [1].

そこで本研究では, 測定誤差やノイズを含んだ測定メッシュから市販 CAD システムでソリッドモデルを定義する際に良く使われるスウィープ型フィーチャ (押し出し型フィーチャ, 回転型フィーチャ) の定義パラメータ群を測定メッシュからロバストに抽出し, そのパラメータ群を CAD システムに渡すことで, CAD システム上でのモデルの修正および変更が容易な整形された CAD モデルの自動生成アルゴリズムの開発を目的とする.

2. スウィープ型フィーチャの認識に基づく CAD モデル自動生成アルゴリズム

2.1 アルゴリズム概要

スウィープ型フィーチャ (押し出し型フィーチャ  $F_p$ , 回転型フィーチャ  $F_r$ ) の認識と CAD モデル自動生成アルゴリズムの概要を図 1 に示す. 入力測定メッシュ  $M_0$  に対して  $F_p$  と  $F_r$  の認識では, それぞれ CAD システムでのモデリングの際に必要なフィーチャ定義パラメータ群 (スケッチプロファイル, 押し出し軸方向等) を抽出し, 市販の 3D CAD システムの API を介して渡す. CAD システム側では, それらのフィーチャ定義パラメータ群を使って, フィーチャを持つソリッドモデル  $S_R$  を生成する. 次に,  $S_R$  の表面に含まれると判定されるメッシュ  $M_i$  内の部分メッシュを  $M_i$  から除去したものを, 未解決メッシュとし, これを再び入力メッシュ  $M$  に戻し, 同様の処理を繰り返す. 未解決メッシュがなくなれば処理を終了

する. なお本報では, 押し出し型フィーチャ認識の一部を開発したので以下そのアルゴリズムを報告する.

2.2 押し出し型フィーチャ定義パラメータ群

押し出し型フィーチャを市販 CAD システム上で定義する際に必要となるフィーチャ定義パラメータ群を以下に記し, 図 2 に示す.

- 1) 2D スケッチプロファイル  $C_s$  (閉曲線: 円弧+直線)
- 2) モデル定義座標系  $x-y-z$  に対するスケッチ定義平面  $P_s$  の原点位置ベクトル  $O_s$
- 3) 押し出し軸方向単位ベクトル  $d_s$  (スケッチ定義平面の法線ベクトル)
- 4) 押し出し寸法値ペア  $(d_{max}, d_{min})$

本研究ではノイズを含む測定メッシュからこれらを以下の手順で抽出する.

2.3 押し出し型フィーチャの認識

押し出し型フィーチャの認識手順は図 3 に示すように以下の通りである.

B1) メッシュ面法線の計算 (図 3(a))

測定メッシュの各三角形  $t_i$  毎に単位法線  $n_i$  と面積  $a_i$  を計算する.

B12) ガウス球へのマッピング

B1) で計算された単位法線  $n_i$  を, ガウス球にマッピングし, 法線ガウスイメージ [2] を生成する.

B13) 押し出し軸方向の認識 (図 3(b), 3(c))

B12) で得られたガウスイメージ上のランダムに選択された 2 点に対応するメッシュ三角形の単位法線ベクトル  $n_1, n_2$  の外積  $\mathbf{d} = n_1 \times n_2$  が, 押し出し軸方向ベクトル候補となる. 正しい方向の認識のために  $|n_1 \times n_2| \geq 0$  となるペアは除き, ガウス球上に投票する. ただし, 投票数は  $n_1, n_2$  を計算した三角形  $t_1, t_2$  の面積  $a_1, a_2$  の和に比例させる. 投票空間には, ガウス球表面を面積がほぼ均一で頂点数 162 個, 面分数 320 個になる

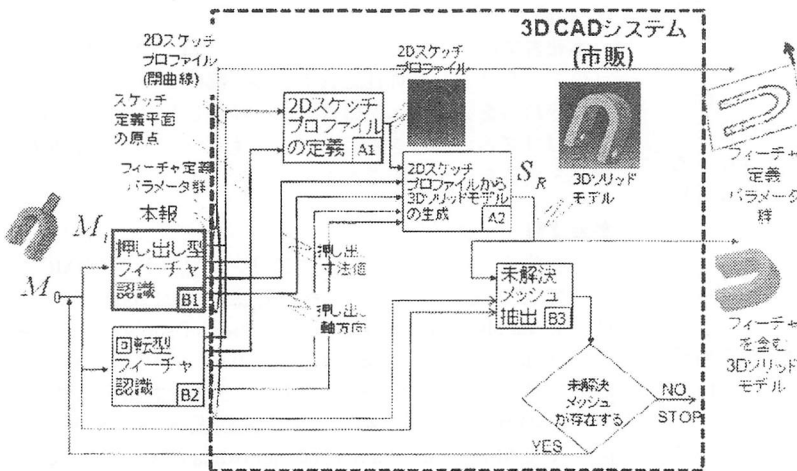


図 1 スウィープ型フィーチャの認識による CAD モデル自動生成手順

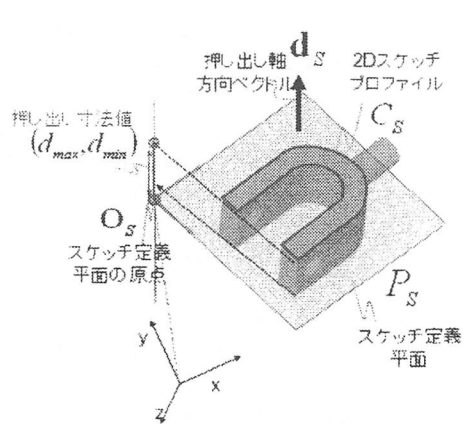


図 2 押し出し型フィーチャの定義パラメータ群

ように三角形分割した bin を持つ天球体を用いる(図 3(c)). 対応する bin 内に投票し,最大投票数を得た bin 内に含まれる  $\hat{\mathbf{d}}_s$  の平均を押し出し軸方向ベクトルの初期値  $\hat{\mathbf{d}}_s$  とする. さらに最大投票数を得た bin である三角形の各辺の中点を結んだ四分分割を行い,再度投票を行う. この四分分割と投票を数回程度繰り返すことで押し出し軸方向ベクトル  $\hat{\mathbf{d}}_s$  を得る.

#### B14) スケッチプロファイルの認識

スケッチプロファイルの認識手順を図 4 に示す. B13) で得られた押し出し軸方向  $\hat{\mathbf{d}}_s$  と垂直な法線を持つ  $l_i$  の頂点を, 軸に垂直な平面(スケッチ定義平面  $P_s$ ) に投影し, 得られた平面上の頂点群に対して 2D 円弧, 直線のフィッティングを行い [3], 円弧であればその中心座標  $C$  と半径  $r$ , 両端点  $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2$ , 直線であれば両端点  $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2$  を計算し, これらを CAD システムに渡す 2D スケッチプロファイルの  $C_s$  定義データとする.

#### B15) 押し出し寸法ベアの認識

B14) の過程で  $P_s$  に投影されなかった点を, 押し出し軸上に投影する. 押し出し軸上の直線は, あらかじめ  $\Delta d$  の幅の微小区間に分割されており, 投影された各点が含まれる区間に対する投票を行う. 投票数の上位 2 区間の区間中心点をそれぞれ  $d_{min}, d_{max}$  として, 押し出し寸法ベア ( $d_{max}, d_{min}$ ) を定義する. なお今回は,  $\Delta d = |d_{max} - d_{min}| / 20$  [mm] とした.

### 3. 実験結果

3D CAD モデルを三角形分割し, さらにその内部を 4 対 1 で再分割して作られた人工的測定メッシュモデル(U字型ジョイント)の, 押し出し軸方向ベクトル, 押し出し寸法の基準値と, 本提案アルゴリズムによる認識値との誤差比較, 出力結果を図 5 に示す. また, 同じメッシュモデルの頂点法線方向に, メッシュ稜線長の最大  $\pm 3\%$  の白色ノイズを加えたデータについても比較を行った. 図 5 より, ノイズが含まれるメッシュからでも所定の押し出し方向とスケッチプロファイルが正しく認識できていることがわかる. 押し出し軸方向認識については, 基準値と認識値のベクトルの成す角を  $\theta$  とすると, それぞれ, ノイズなしの場合が  $\theta = 0.0727$  [deg], ノイズありの場合が  $\theta = 0.6467$  [deg] であった. また, 押し出し寸法誤差は, ノイズなしの場合が  $-0.0039$  [mm], ノイズありの場合が  $-0.0055$  [mm] であった.

なお今後, 押し出し軸方向ベクトルや押し出し寸法を初期値とし, 最小二乗法によるフィッティングをさらに行うことで, 認識精度の向上が可能と思われる.

### 4. まとめ

ノイズを含む押し出し型フィーチャの押し出し軸方向ベクトルと, 押し出し寸法ベアの認識アルゴリズムを実装し, 初期の認識精度としては十分であることを確認した. 今後は, CAD システムとの連携により, 押し出し型フィーチャを持つモデルを再構築し, 誤差を評価する. 回転型フィーチャについても同様である.

### 参考文献

- [1] Tamas Varady et al. "Automatic extraction of surface structures in digital shape reconstruction" Computer-Aided Design 39(2007) 379-388
- [2] Yinling Ke et al. "Feature-based reverse modeling strategies", Computer-Aided Design vol.38, No.(2006) 485-506
- [3] H. James de St. Germain et al. "INTEGRATING FREEFORM AND FEATURE-BASED FITTING METHODS", Proceedings of DETEC'04 ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Salt Lake City, Utah.

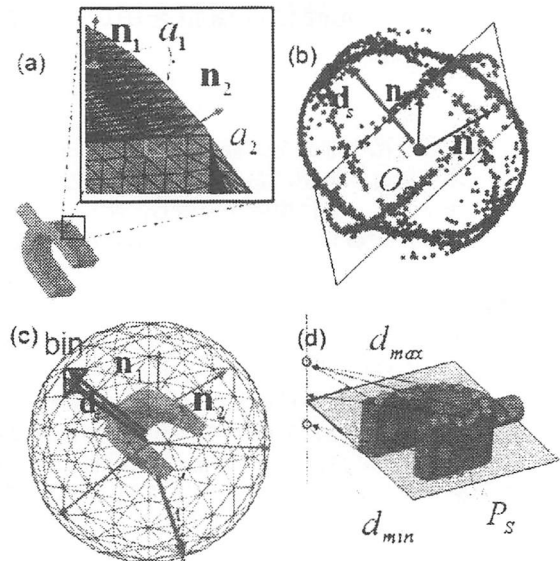
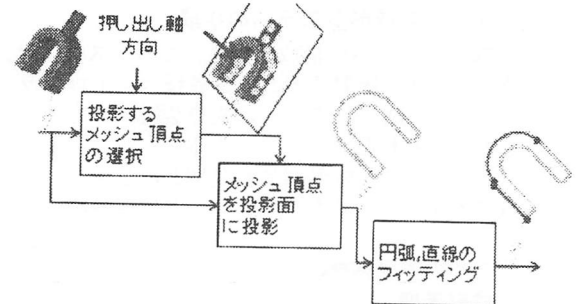


図 3 押し出し型フィーチャ認識手法

(a) メッシュの面法線および面積計算, (b) ガウスイメージ上での押し出し軸方向ベクトル候補計算, (c) 押し出し軸方向ベクトル候補の投票空間への投票, (d) 押し出し寸法ベアの認識



基準値
頂点数: 20699 面分数: 41384 個
平均稜線長: 0.612385 [mm]
押し出し軸方向ベクトル:
(0.50, 0.707106, 0.5)
押し出し寸法: 20.0 [mm]

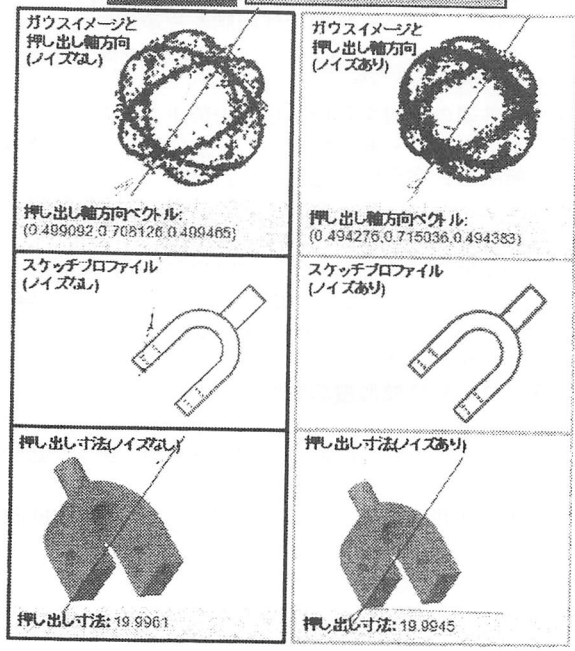


図 5 アルゴリズムの認識結果