

メッシュモデルからのソリッドモデルの自動生成を目的とした フィッティング曲面種類の自動決定に関する研究

北海道大学 ○溝口 知広, 伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史

本報では、メッシュモデルからのソリッドモデルの自動生成を目的とし、既提案のメッシュモデルの特徴稜線抽出手法の成果をもとに、メッシュ頂点の主曲率値や主方向から、特徴稜線で囲まれた領域にフィットする解析曲面の種類を自動決定する手法を提案する。

1 はじめに

近年、3次元レーザスキャナや工業用高エネルギーX線CTスキャナによる、物理モデルの測定からのメッシュモデルの入手が可能となり、設計・製造の効率化のため、このメッシュモデルからソリッドモデルを自動で生成する技術の開発が望まれている。しかし現状では、このプロセスの初期段階である、メッシュモデルの領域分けと曲面フィッティングの技術が不十分であり、未だユーザによる多くのマニュアル操作を必要としているのが現状である。

測定データへの自由曲面フィッティングに関する研究は多くなされているが、工業用X線CTなどから得られる機械部品の測定データを対象とした曲面フィッティングの研究例は比較的少ない。機械部品は解析曲面で構成される部分が多く、形状変更などの容易性を考えた場合、その形状が解析曲面でパラメトリックに表現されることが望ましい。そこで本研究では、機械部品を対象とした、測定メッシュモデルから解析曲面（平面、円筒、円錐、球）でフィッティング可能な領域を抽出し、その曲面種類を自動決定する手法の開発を目的とする。

2 既提案法と関連研究

本研究ではこれまでに、ソリッドモデルの自動生成を目的としたメッシュモデルからの特徴稜線抽出手法を提案してきた^[1]。この手法には、メッシュに含まれる測定ノイズの影響を受けにくく特徴稜線を抽出できる、また、抽出される特徴稜線がグループを形成し、これに囲まれる領域を1つの機能面として認識できるといった利点がある。しかしこの手法では、シャープな特徴稜線はほぼ自動で抽出できるものの、複数の曲面が滑らかに接続する領域（例えば、複数の円筒が滑らかに接続する領域）の曲面間の境界線の特徴稜線として抽出することは困難である。

メッシュモデルの解析曲面単位での領域分けを行う手法として、BenkóらのDirect Segmentation法^[2]が挙げられる。この手法では、メッシュモデル上で近似した形状特徴量（主曲率や三角形の面法線）をもとに、ソリッドモデル生成に適した解析曲面領域、線形押し出し領域、回転領域を抽出している。しかしこの手法では、異なる種類の曲面の境界付近において、形状特徴量の誤差が大きくなり、領域分けの精度が低いといった欠点がある。これに対し、VieiraらのRegion Growing法^[3]では、メッシュモデル上で近似した主曲率をもとにシード領域を生成し、このシード領域を初期領域として利用し、曲面フィッティングと領域への近傍頂点の追加を繰り返すことにより領域を逐次的に拡大し、曲面にフィットする領域を抽出する。この手法では、測定ノ

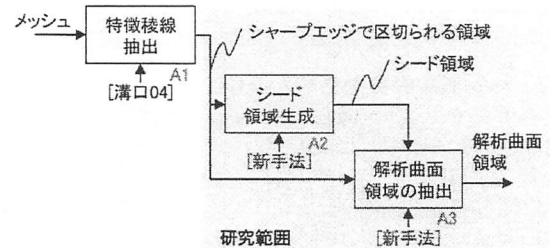


図1: 提案手法の概要

イズの影響を受けにくく領域分けが行えるといった利点があるが、解析曲面単位での領域分けは行えず、さらに、曲面フィッティングと領域への頂点追加を繰り返すため、処理時間がかかるといった問題がある。

そこで本研究では、このRegion Growing法^[3]を拡張し、測定ノイズの影響を受けにくく、かつ高速に、メッシュモデルから解析曲面でフィッティング可能な領域を抽出する手法を提案する。

3 提案手法

図1に提案手法の概要を示す。まず、既提案法^[1]により、シャープエッジで囲まれるメッシュ表面の部分的な領域が抽出される(A1)。本手法では、これら各領域をそれぞれ独立したメッシュモデルとみなし、これらに対して次に述べる手法(A2, A3)を適用し、解析曲面領域を抽出する。

3.1 シード領域生成(A2)

本研究で提案するシード領域生成法(A2)は、以下の4つのステップからなる。

i) 曲率計算

提案するベジェ曲面フィッティングに基づくメッシュ曲率算出法^[1]を用いて、メッシュ頂点の曲率を算出する。A1の処理ですでにメッシュがシャープエッジで分割されているので、本来曲率算出誤差が大きいシャープエッジ上の頂点の曲率も適切に算出できる。

ii) 主曲率のフィルタリング

測定ノイズの影響による曲率算出誤差を緩和するために、主曲率のフィルタリングを行う。各頂点とその1近傍頂点に対して、まず中間値フィルタリングを1回適用することで、メッシュから主曲率の異常値を取り除き、次に平均値フィルタリングを指定回数適用し、偶然誤差による主曲率値の算出誤差を緩和する。

iii) 頂点の分類

算出した曲率値をもとに、各頂点 v_i に対して、その頂点が解析曲面（平面、円筒、円錐、球）のうち、どの曲面上に存在するかを示すラベルを式(1)を用いて1つずつ割り当てる。

$$label(v_i) = \begin{cases} 1 & \text{plane} & \text{if } (\kappa_{i,max} < \varepsilon_1) \\ 2 & \text{cylinder, cone} & \text{else if } (|\kappa_{i,min}| < \varepsilon_1) \\ 3 & \text{sphere} & \text{else if } (\kappa_{i,max} - \kappa_{i,min} < \varepsilon_2) \\ 0 & \text{others} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

iv) 近傍評価によるシード領域生成

割り当てた頂点のラベルをもとにシード領域を生成する。ここで言うシード領域とは、その曲面種類に最もよく合致した主曲率や主方向を持つ頂点集合からなる領域である。

複数の曲面が接続する領域では、それらの曲面境界部分において、適切な曲率の評価が行えず、この部分にある頂点のラベルは、本来その頂点が属しているはずの曲面とは異なる種類のラベルが割り当てられやすい。そこで、各頂点の近傍を広域的に評価し、その頂点と近傍頂点とのラベル、主曲率値、主方向を比較し、曲率計算が不正確になりやすい異なる曲面間の境界上の頂点、および、ラベル2を持つ頂点の円筒と円錐の境界上、径の異なる円筒の境界上の頂点をシード領域に含まないようにし、シード領域を生成する。本手法ではラベル2を持つ頂点を更に分類するため、頂点の主曲率値だけでなく主方向も評価に用いる。主方向の評価には、ガウス球上へのマッピングに基づく手法を利用する。近傍評価には、各頂点から半径 r の球内に含まれる頂点集合を利用し、0以外のラベルを持つ頂点に対して以下の手順を適用してシード領域を生成する。

まず、ラベル1と3を持つ頂点は、球内の頂点集合がすべて同じラベルを持てばその頂点ラベルを保存し、持たなければラベルを0に更新する。ラベル2を持つ頂点は、球内の頂点集合の、最大主曲率値の最大値と最小値の差がある閾値以下であり、かつ、最小主曲率の方向ベクトルとガウス球との交点がある誤差範囲内の領域に分布していれば、その頂点ラベルを4に更新し、分布していなければラベルを0に更新する。球内の頂点集合の、最小主曲率の方向ベクトルとガウス球との交点がある誤差範囲内の円周状に分布していれば、その頂点ラベルを5に更新し、分布していなければラベルを0に更新する。最後に、0以外の同じラベルを持つ連結した頂点群が、シード領域となる。

3.2 解析曲面領域の抽出(A3)

抽出したシード領域と、それらの近傍の頂点は、同じ性質を持つ曲面上にあると考えられるので、シード領域を近似する曲面は、それらの近傍の頂点をも含めた領域を適切に近似するはずである。そこで、まず解析曲面をシード領域内の頂点にフィッティングし、次に、シード領域に隣接する頂点のうち、フィッティング曲面との誤差が閾値よりも小さい頂点を領域に追加し、領域を拡大する。この頂点追加は、領域に隣接する頂点のいずれもが領域に追加できなくなるまで続ける。頂点追加は、シード領域内の頂点数が多い領域から順に行い、これにより、より少ない数の大きな領域が生成されやすくなる。

4 実験結果

本手法をメッシュモデルに適用した結果を、図2に示す。実験には、3DCADで作ったモデル(a)を、FEMメッシュャにて分割した三角形数約3万のモデル(b)を用いた。このモデルには、メッシュの平均稜線長さの10%の値を標準偏差に

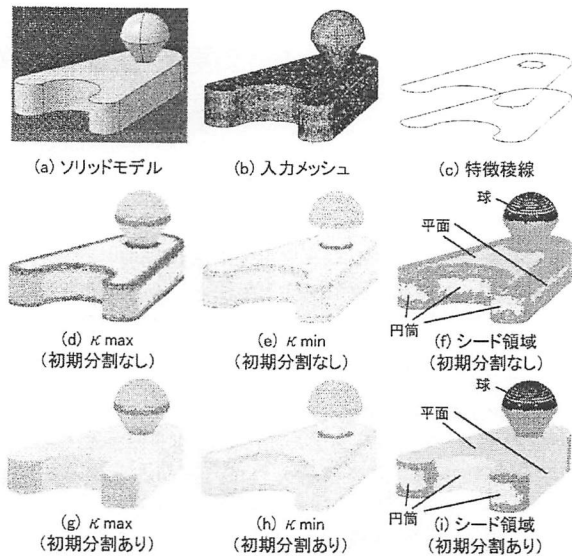


図2: 実験結果

持つガウス乱数を用いて、人為的にノイズを加えている。(c)はこのモデルから既提案法^[1]を用いてシャープな特徴稜線を抽出した結果である。(d)-(f)はこの特徴稜線を抽出せず、メッシュモデル単体に本手法を適用した結果であり、(g)-(i)は先に抽出した特徴稜線でメッシュを4つの領域に分割し、各領域を独立したメッシュモデルとみなし、それぞれのモデルに本手法を適用した結果である。(d),(e),(g),(h)より、先にシャープな特徴稜線でメッシュ分割し、各領域ごとに曲率計算することで、このシャープな特徴稜線に近い頂点も、その曲面種類を反映した曲率値が算出され、これにより、(f)と比べて(i)では、より頂点数の多いシード領域が生成されることが分かる。このモデルには、解析曲面のうち、平面と円筒がそれぞれ4つ、円錐と球がそれぞれ1つ含まれている。4つの円筒のうち、3つは滑らかに接続している。現在は、円錐を除くすべての領域のシード領域が抽出できるところまで確認できている。これらのシード領域をもとに、解析曲面領域の抽出を行うことで、従来手法と比べ、より高精度な領域抽出が期待できる。

5 おわりに

本報では、ソリッドモデルの自動生成を目的としたメッシュモデルから解析曲面(平面、円筒、円錐、球)でフィッティング可能な領域を抽出し、その曲面種類を自動決定する手法を提案し、フィッティングの元となるシード領域抽出までの有効性を実験により確認した。今後はこれらの成果に基づいた、解析曲面領域抽出の自動化に取り組む。

参考文献

- [1] 溝口ら.メッシュ特徴稜線抽出のための曲率評価法の比較に関する研究.精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,C16,2005.
- [2] P. Benkó et al.. Segmentation methods for smooth point regions of conventional engineering objects. CAD, 36(6), 511-523, 2004.
- [3] M.Vieira et al.. Surface mesh segmentation and smooth surface extraction through region growing. CAGD, 2005. (in Press)