

Region Growing 法と曲率評価に基づく メッシュモデルからの解析曲面領域と曲面パラメータ抽出手法

北海道大学大学院情報科学研究科 ©溝口 知広, 伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史

要旨: 近年, 3次元測定機の発達により, 機械部品などの測定からのメッシュモデルが製品開発の様々なプロセスで用いられるようになった. 本報告では, この測定メッシュモデルをより有効に活用するための, メッシュモデルからの解析曲面領域とその曲面パラメータを自動抽出する手法を提案する.

1 緒論

近年, 3次元レーザースキャナや産業用 X 線 CT スキャナによる, 機械部品の測定メッシュモデルが入手可能となり, 製品開発に用いられるようになった. このような測定メッシュモデルを, 検査, ソリッドモデル生成, 解析用メッシュ生成などのアプリケーションで有効に利用するためには, メッシュモデルからソリッドモデル上で1つの面分に相当する領域と, その曲面パラメータを抽出するメッシュモデルのセグメンテーションが必要となる. しかし現状の技術では, 多くのユーザ操作を必要としているものが多い. 機械部品は解析曲面で構成される部分が多く, 後のアプリケーションでの利用を考えると, その形状が解析曲面でパラメトリックに (例えば円筒であれば, 軸方向や径などのパラメータで) 表現されることが望ましい. そこで本研究では, 機械部品などの測定メッシュモデルから, ソリッドモデル上で1つの面分に相当する解析曲面, フィレット面, 線形押し出し面, 回転面に相当するメッシュ上の領域と, それらの領域を近似する曲面パラメータを自動抽出する手法の開発を目的とする.

2 既提案法の問題点と提案手法の概要

本研究ではこれまでに, 曲面フィッティングに基づくメッシュモデルのセグメンテーション手法を提案してきた [1]. この手法では, 高速かつ曲面種類の誤認識が少なく, メッシュモデルからの領域と曲面パラメータの抽出が可能であるといった利点がある. しかし, 測定ノイズを含んだメッシュ上で, 曲面種類 (平面, 円筒面, 球面, 円錐面, トーラス面) を決定するための閾値設定が困難であったといった問題があった.

本報告では, 上記の問題点を解決する手法を提案する. 提案する手法の基本的なアイデアは, 既提案法ではメッシュの頂点ごとにその頂点の主曲率のみを評価し曲面種類を決定していたのに対し, 新たに提案する手法では, まず1つの解析曲面上にあると推定される頂点集合を生成し, この集合内の頂点の主曲率と法線ベクトルの分布を評価し曲面種類を決定することである. これによって, 曲面種類を決定する際の厳密な閾値設定が不要となり, さらに主曲率の算出誤差による曲面種類決定に与える影響も緩和でき, 測定ノイズに対してロバストに領域とその曲面パラメータの抽出が可能となる. ただし, 本報告で提案する手法は, 形状がすべて平面と円筒面のみで構成されるメッシュモデルのみを対象とする.

3 提案アルゴリズム

新たに提案する手法は, 既提案法 [1] と同様に, 3つのステップから構成される. まず, シャープエッジを認識してメッシュ頂点の主曲率を算出し (ステップ 1), 次に, 算出した主曲率をもとに解析曲面領域とその曲面方程式を抽出し (ステップ 2), 最後に, 抽出した解析曲面の隣接関係や幾何条件から, フィレット面, 線形押し出し面, 回転面に相当する領域を抽出する (ステップ 3).

新たに提案する手法の主な拡張点はステップ 2にある. また, ステップ 1にも曲面種類の誤認識を少なくする工夫を導入したので, これらの部分についてのみ報告する. 提案するステップ 2のアルゴリズムの概要を図 1に示す.

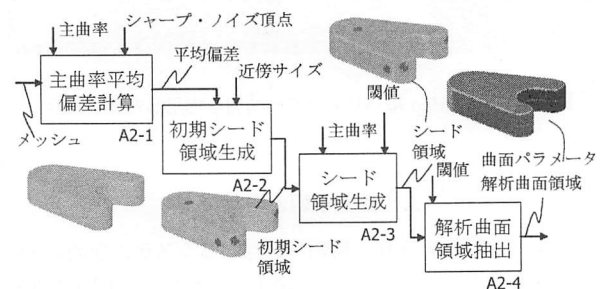


図 1: 解析曲面領域と曲面パラメータ抽出アルゴリズム

3.1 メッシュ主曲率算出とノイズ頂点の分類

メッシュ頂点の主曲率を高精度に算出するため, 本研究では, 各頂点の近傍頂点群への局所的な双二次ベジェ曲面フィッティングに基づく手法をベースとした手法を提案してきた [1]. この手法では, まず少ない数の近傍頂点に対してフィッティングし算出した主曲率から, シャープエッジ上にあるシャープ頂点を分類する. 次に, 分類したシャープ頂点を考慮して, 比較的大きい数の近傍頂点群に対して曲面をフィッティングし, 主曲率を算出する.

新手法では, 各頂点に隣接する三角形群から算出した頂点法線ベクトル \mathbf{n} と, フィッティングしたベジェ曲面より算出した法線ベクトル \mathbf{n}' とのなす角度を算出し, この値が $5(\text{deg})$ 以上である頂点をノイズ頂点と分類する処理を加える. このノイズ頂点は, メッシュ上に大きな測定ノイズが含まれる部分や, 局所的に曲面が適切にフィッティングできない部分に発生しやすい. このノイズ頂点は, 曲面種類の誤認識を少なくするため, 後のシード領域生成ステップでは処理から除外する.

3.2 主曲率平均偏差計算(A2-1)と初期シード領域生成(A2-2)

次に算出した主曲率をもとに、ある1つの曲面上にあると考えられる頂点集合であるシード領域を生成する。ここでは、ある初期シード領域から開始し、その領域内の頂点群とある誤差内の主曲率値や法線ベクトルを持つ近傍頂点を反復的に初期シード領域に追加していくことで、初期シード領域を拡大し、シード領域を生成する。

まず、シャープ頂点とノイズ頂点を除く各頂点の近傍頂点群の最大主曲率の平均値 $\kappa_{i,\max}^{avg}$ を計算し、これらをもとに各頂点の最大主曲率の平均偏差を式(1)で計算する。

$$d(i) = \frac{1}{n} \sum_{j \in N(i)} |\kappa_{j,\max} - \kappa_{i,\max}^{avg}| \quad (1)$$

ここで $N(i)$ は頂点 i から、頂点 i に接続する稜線の平均長の3倍以内の距離にある n 個の頂点集合とする。次に、すべての頂点を式(1)の値が小さい順にソートする。この平均偏差は、異なる解析曲面の境界部分で大きくなりやすい。

次に、シード領域を生成するため、平均偏差の値が小さな頂点から順に処理を開始し、その頂点からあるユークリッド距離内にある頂点集合 $N(i)$ を初期シード領域とする。

3.3 初期シード領域拡大によるシード領域生成(A2-3)

次に、初期シード領域内の最大主曲率の平均値 κ_{\max}^{avg} 、平均法線ベクトル \mathbf{n}^{avg} を求め、初期シード領域に隣接する頂点のうち、式(2)を満たす頂点を領域に追加していく。

$$\begin{cases} \cos^{-1}(\mathbf{n}^{avg} \cdot \mathbf{n}_j) < \tau_{norm} & (\kappa_{\max}^{avg} < th_{seed}) \\ \left| 1 - \frac{\kappa_{\max,j}}{\kappa_{\max}^{avg}} \right| < \tau_{curv} & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

この式(2)は、法線ベクトルであれば誤差 τ_{norm} [deg] まで、主曲率であれば τ_{curv} (%) までの頂点を追加することを意味する。閾値 th_{seed} の値は、測定物表面上で最も大きな円筒面の半径 R_{\max} をおおよそ見積もり、それより大きな値 $R (> R_{\max})$ を決め、 $th_{seed} = 1/R$ に設定する。これによって、すべての円筒面のシード領域は式(2)を、平面は式(2)下を満たす頂点が初期シードに追加され、シード領域が生成されることになる。その他の閾値はそれぞれ $\tau_{norm} = 2.5$ [deg]、 $\tau_{curv} = 25$ に設定すると、領域が隣接面上の頂点までも追加することなく、適切に領域を拡大できる。領域の拡大が終了すると、拡大後の領域内の頂点の主曲率や法線ベクトルの平均値を計算し、これらを新たな κ_{\max}^{avg} 、 \mathbf{n}^{avg} として、再度初期シード領域から領域拡大を繰り返す。この処理は、領域拡大後の領域内の頂点数が、領域拡大前の頂点数よりも小さくなれば終了する。これによって大きなシード領域を生成することが可能となる(図2(a))

3.4 解析曲面領域と曲面パラメータの抽出(A2-4)

シード領域が生成されると、このシード領域内の頂点法線ベクトルの分布から、曲面種類(平面、円筒面)を決定する。提案する手法では簡単に、各シード領域内の平均法線ベクトルを算出し、これより誤差 5[deg]以内の法線を持つ頂点数が90%以上であれば平面、そうでなければ円筒面と決定している。

次に、region growing 法のアイデアを用いて、シード領域

への解析曲面フィッティングと近傍頂点の追加を反復的に行うことで、解析曲面領域とその曲面パラメータを抽出する。ここでは、まず生成した各シード領域に対して、決定された種類の解析曲面をフィッティングする。次に、シード領域に隣接する頂点のうち、フィッティングした曲面との、位置・法線誤差方向誤差が式(3)、式(4)を満たす頂点をシード領域に追加する。

$$|\mathbf{v}_i - \mathbf{p}_i| < th_{pos} \cdot l_{avg} \quad (3)$$

$$\cos^{-1}(\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_{p_i}) < th_{norm} \quad (4)$$

ここで l_{avg} はメッシュの全稜線の平均長である。ここで \mathbf{p}_i はメッシュ頂点 \mathbf{v}_i に対応する曲面上の点、 \mathbf{n}_{p_i} は点 \mathbf{p}_i の法線ベクトルである。2つの閾値は、それぞれ $th_{pos} = 1.0$ 、 $th_{norm} = 8.0$ [deg] に設定するとすべての測定メッシュモデルでよい結果が得られている。一度領域の拡大が終了すると、拡大された領域全体に対して再度曲面をフィッティングし、曲面パラメータを更新し、再度シード領域に隣接する頂点とフィッティングした曲面との誤差を評価し、近傍頂点を追加することで領域拡大を行う。この処理は、反復後の頂点数が反復前の頂点数よりも少なくなれば終了する。提案する手法では、シード領域を大きく生成しているため、領域拡大における反復回数を少なく抑えることができる。

4 実験結果と考察

図2に本手法をX線CTによる測定から得られたメッシュモデルに適用した結果を示す。このような測定メッシュからでも、閾値 th_{seed} を変更するだけで、その他の閾値は変更しなくても、曲面種類の誤認識が少なく領域が抽出できていることがわかる。現状では円筒面のフィッティングに線形的手法を用いているが、非線形的手法を用いることでより高精度に領域抽出が可能になると考えられる。

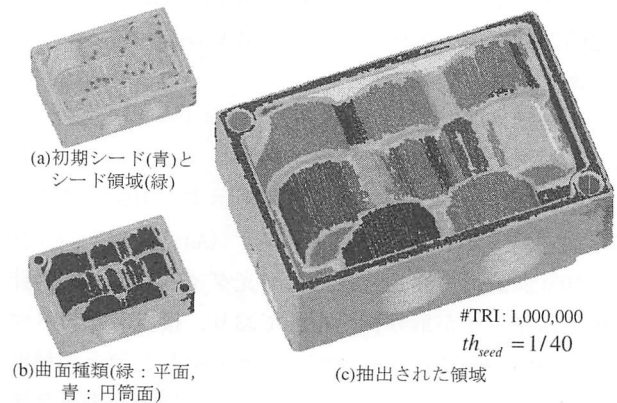


図2：測定メッシュでの実験結果(空圧調整用バルブ)

5 結論

本報告では、より少ないパラメータ設定でメッシュモデルのセグメンテーションを行う手法を提案し、その有効性を検証した。今後の課題としては、球面、円錐面、トーラス面への拡張、制約付き曲面フィッティングがあげられる。

参考文献

- [1] 溝口ら. 曲面フィッティングに基づく測定メッシュモデルのセグメンテーションと特徴稜線抽出手法. 精密工学会春季全国大会講演論文集, A65, 2006.