

## 三次元メッシュデータからの幾何形状情報抽出に関する研究

旭川工業高等専門学校 ○浦田 昇尚, 後藤 孝行  
 北海道大学 金井 理, 伊達 宏昭  
 北海道立総合研究機構工業試験場 安田 星季, 岩越 睦郎, 万城目 聡, 神生 直敏, 櫻庭 洋平

## 要 旨

本研究では, 三次元形状測定機で形状を測定して獲得した三次元メッシュデータから幾何形状情報を自動抽出することを目的としている。そこで, RANSAC (Random Sample Consensus) と領域成長の手法を用いて平面および円筒面の幾何形状情報を抽出するアルゴリズムを提案し, 機械部品の実三次元メッシュデータを用いた検証実験により, 平面および円筒面が抽出できたことを報告する。

## 1. はじめに

機械の部品が破損した際に, 図面の管理が行き届いていなかった場合や諸処の事情で破損した部品の図面が存在しないことがある。そのような場合, 三次元形状測定機などを使い, 部品の形状を三次元データとして記録し, それをもとに設計・製作する, いわゆるリバースエンジニアリングを行う方法がある。その際, 三次元データを平面や円筒面などの領域に分類分け(セグメンテーション)し, その領域ごとに幾何形状情報の抽出を行えば加工を効率良く進めることができる。しかし, 現在この工程は人の手で行われることが多く, 時間やコストなどの負担がかかっている。この工程を自動で行えるようになれば簡便かつ迅速に機械部品の復元や修理が可能となる。

これを実現するために, 三次元データからの高精度な幾何形状情報抽出アルゴリズムが必要となってきた<sup>1)</sup>。そこで, 本報では, 機械部品をレーザスキャナで測定して獲得した三次元メッシュデータから, 機械部品表面に頻繁に現れる平面と円筒面の幾何形状情報を自動的に抽出するアルゴリズムを提案し, 実際の機械部品の測定データに適用した結果を報告する。

## 2. 幾何形状情報抽出アルゴリズム

図1は, 提案する三次元メッシュデータからの幾何形状情報抽出アルゴリズムの流れ図である。三次元メッシュデータは, レーザスキャナのような非接触式形状測定機で獲得したものを対象とし, 測定表面を微小な三角形の集合で表し, メッシュの頂点座標とメッシュ同士の隣接情報が記録されたものである。

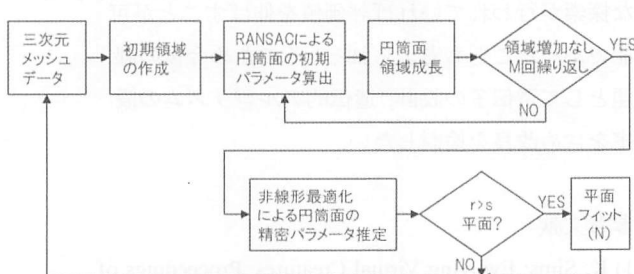


図1 幾何形状情報抽出アルゴリズムの流れ図

## 2.1 初期領域の作成

まずランダムに選んだ三角形を領域のシードとし, その三角形の法線ベクトルと, 隣接三角形の法線ベクトルとのなす角を計算し, 角度がしきい値以内の場合, 隣接三角形を領域に加える。

本報での, しきい値は  $0.99 \approx \cos 8.1^\circ$  と設定する。さらにこの隣接三角形に対しても同様の処理を繰り返す。これを領域が増えなくなるまで繰り返すことで初期領域を作成する。

## 2.2 RANSAC による円筒面の初期パラメータ算出

得られた初期領域に対し, その領域を円筒面でフィッティングする。この時, 円筒面に関するパラメータのうち, 軸ベクトルおよび円筒面半径は RANSAC の手法<sup>2)</sup>を用いて算出する。

## 2.2.1 円筒面軸ベクトルの算出

まず, 領域内の各三角形の法線ベクトルを法線ガウス球に投影する。その後, ガウス球内からランダムに選ばれた二つの法線ベクトルで構成される平面を求め, この平面と一定距離の平行な平面内に存在するガウス球上の法線投影点の数を調べる。これを複数回繰り返し, その数が最も多くカウントされた平面の法線ベクトルをその円筒面の軸ベクトルとする。

## 2.2.2 円筒面半径の算出

最初に, 前項で算出した軸ベクトルに垂直な平面へ領域内の三角形の中心座標と法線ベクトルを投影し, その中からランダムに選ばれた二つの法線ベクトルの交点を仮の中心とし, その中心から一つ目にしたベクトルまでの距離を円筒面の仮の半径とする。この半径で生成される円から一定距離以内にある投影された三角形の中心座標の数を調べる。これを複数回繰り返し, その数が最も多くカウントされた中心座標と半径を, その円筒面の中心座標および半径の初期パラメータとする。

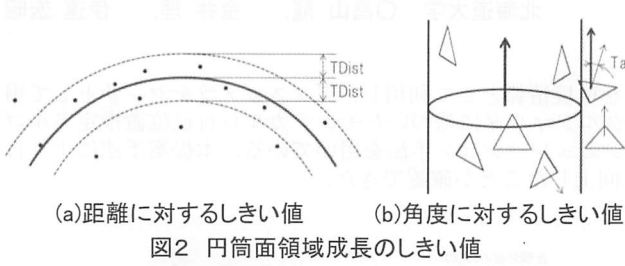
## 2.3 円筒面領域成長

さらに領域に隣接する三角形の中で, 2.2 節から得られた初期パラメータで定義される円筒面上に, しきい値以内でフィットしている三角形を, 同一領域に加えることで, 円筒面領域の成長を行う。

図2は, 円筒面領域成長のしきい値の設定方法である。(a)に示すように, 三角形メッシュの中心(・印)と円筒面の中心および半径(実線)を用いて, 半径のしきい値(破線,  $\pm TDist$ )内に存在し, かつ, (b)に示すように円筒面の軸ベクトル(太線矢印)と三角形の法線ベクトル(細線矢印)の内積値がしきい値( $Ta$ )内に存在する, すなわち軸ベクトルと法線ベクトルがほぼ直交する三角形を領域に加える。

その後, 領域の成長が止まった際には2.2節へ戻り, 成長した領域を用いて再度 RANSAC を行うことで新たに円筒面のパラメータを算出し直し, 領域成長を繰り返す。

RANSAC を行っても領域が成長しなかった回数が M 回を超えた時、その領域は十分に成長したと判定し次の処理へ進む。



2.4 非線形フィッティングによるパラメータ算出

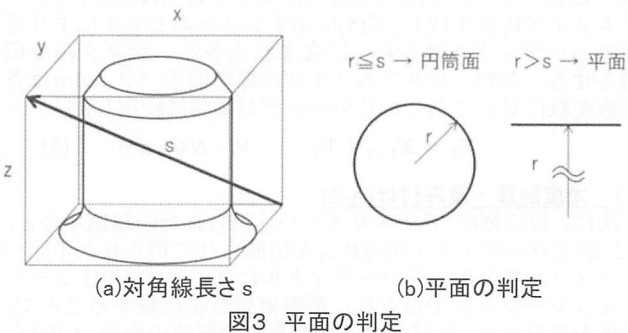
RANSAC は測定誤差などによるノイズに強いという利点を持つが、フィットする円筒面の正確なパラメータを算出することができない。そこで、円筒面領域内の全三角形頂点を用いて Levenberg-Marquadt 法<sup>3)</sup>による非線形フィッティングを行い、円筒面のパラメータ(軸)を正確に算出する。

2.5 平面フィッティング

以上の円筒面フィッティング処理の結果、円筒面半径が一定値以上となった領域については平面と判定し、平面フィッティングを改めて行う。

図3は、この平面の判定方法である。(a)に示すように、処理対象となる三角形メッシュモデル全体を囲む直方体(x-y-z)の対角線長さ(s)を求める。(b)に示すように、s と円筒面半径 r との関係から、 $r \leq s$  の時は円筒面、 $r > s$  の時は平面と判定する。

平面フィッティングでは、領域成長のみを用いて平面パラメータの抽出を行う。まず、2.1 節の初期領域の作成でシードとして選んだ三角形の中心座標を通り、その三角形の法線ベクトルを平面の法線ベクトルとする。そこから隣接している三角形と平面の法線ベクトルとの内積を計算し、一定値以上となる三角形を領域に加える。領域内の三角形数が N 個増える毎に領域内三角形の法線ベクトル平均値を、フィッティングする平面の法線ベクトルとして平面のパラメータを更新する。これを繰り返し、領域の成長が止まるまで処理を行うことで平面のパラメータを算出する。なお、N は、2.3 節の円筒面領域成長で得られた領域内三角形数の 10%の数とした。



3. 検証実験結果と考察

図4は、検証実験に用いた機械部品である。この部品は鋳物製品であり、機械加工面(上部)と鋳肌面(側部)から構成されている。

図5は、非接触式三次元形状測定機で機械部品の形状を測定して獲得した三次元メッシュデータの一部である。上部三段が機械加工されている平面と円筒面であり、側部は主として鋳肌面となっている。データ数は、頂点数が 1,179,591 個、三角形面数が 2,345,082 個である。

図6は、このデータから本手法により平面と円筒面を抽出した結果である。処理時間は CPU が Core i7-2600 3.4GHz の場合で 224 秒を要した。処理の結果、平面 24 個、円筒面 198 個が検出された。また、上部の機械加工面ではそれぞれの平面および円筒面において細分化されることなく一体の領域として分けることができたことから、本アルゴリズムの有用性が確認された。

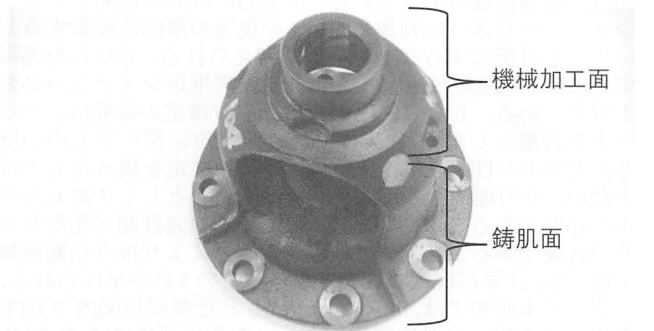


図4 検証実験に用いた機械部品



図5 三次元メッシュデータ

図6 処理結果

4. おわりに

本報では、三次元メッシュデータから、平面および円筒面の領域分けと幾何形状情報を自動で抽出するアルゴリズムを提案し、機械部品の実際の三次元メッシュデータを用いた検証実験により良好な結果を得た。しかし、鋳肌面部分においては、抽出結果の中に領域が細分化され過ぎてしまう部分も見られた。

今後の課題は、処理時間のさらなる短縮化を図ることである。

参考文献

- 1) 例えば、溝口知広他:ICP とリージョングロウイングを組み合わせた機械部品計測メッシュのユークリッド対称性認識手法, 精密工学会誌, 75, 4, (2009)554.
- 2) R. Schnabel, R. Wahl and R. Klein : Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection, Computer Graphics Forum, 26, 2, (2007) 214.
- 3) C. M. Shakarji : Least-Squares Fitting Algorithms of the NIST Algorithm Testing System, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 103 ,6 , (1998) 633.