

# スキャン・設計形状データを用いた3次元環境認識に関する研究

北海道大学 大学院情報科学研究科 ○廿日岩 昭裕, 伊達 宏昭, 小野里 雅彦, 田中 文基  
要 旨

本研究では、実世界のシーンのスキャンデータと設計データを用いた人の作業支援のための、シーン内における設計対象の存在有無・位置姿勢を自動認識する環境認識技術の構築を目的とする。本報告では、その基礎となる、曲率評価と結線・細線化に基づく形状特徴抽出手法を提案する。

## 1 はじめに

近年、3次元非接触スキャン装置の高性能化により、短時間で広範囲な領域の高精度なデータ取得が可能となり、従来の製品レベルでの使用に限らず、プラントの検査や作業空間の認識など大規模モデルに対しての活用が期待されている。そこで、本研究では、作業空間の認識、検査、環境のシミュレーション、仮想空間の構築等を支援するための、シーン内にある設計対象をスキャンデータから自動で認識する環境認識技術の確立を目的とする。本報告では、その基礎となる、形状特徴抽出手法を提案する。

## 2 形状特徴抽出

シーンのスキャンデータは、ノイズやデータの抜けなどを含むため正確に対象を把握することが困難であったり、データ量が膨大となるためデータ処理が高価になるといった、使用上多くの問題を含む。効率的で頑健な環境認識の実現のためには、先述のデータの欠陥に対して頑健に抽出を行える簡素な形状特徴を利用することが望まれる。本研究では、対象形状を曲率評価と結線・細線化を経て抽出された特徴線から捉え、特徴線の接続関係から形状を抽象的に表現する形状特徴グラフを形状特徴として用いる。

本研究で提案する環境認識手法は形状特徴グラフをシーンのスキャンデータ、ならびに、設計データから抽出し、2つのグラフの情報を利用して設計対象のシーン内における存在の有無の認識ならびに位置姿勢の認識を行うものである(図1)。本研究では、入力とするスキャンデータならびに設計データを三角形メッシュモデルとする。なお、スキャンデータは一方向から取得したデータ(計測地点から見て裏側の情報は含まない)とする。

## 3 形状特徴線の抽出手法

### 3.1 形状特徴グラフの定義

本研究で用いる形状特徴グラフ  $G$  は、メッシュの特徴線に基づいて、フェイス  $f \in F$ 、アーク  $a \in A$ 、ノード  $n \in N$  から構成される ( $G = (N, A, F)$ )。ノード  $n$  は3

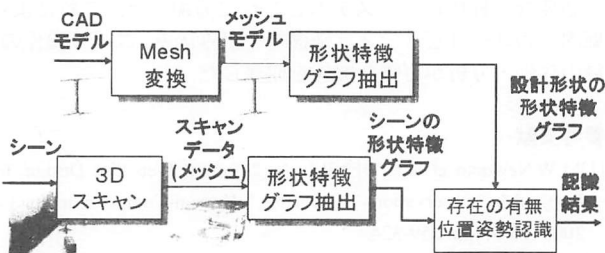


図1 形状特徴グラフを用いた環境認識概要

本以上のアークの連結部、アーク  $a$  はメッシュ上の一連の特徴線系列、そして、フェイス  $f$  はアークに囲まれる領域と定義する。

### 3.2 初期特徴線抽出

まず形状の凹凸部、輪郭部に当たる特徴点をメッシュから抽出する。特徴点は、メッシュを構成している頂点のうち、メッシュの境界(稜線が一つの面のみに接続している部分)上にある、曲率の評価値が一定以上、のいずれかの条件を満たす点とする。初期特徴線は特徴点を結ぶ稜線とする。

メッシュの境界上の点は、隣接頂点数と隣接三角形数が異なるか否かを判定することで認識される(異なる場合は境界上の点)。曲率評価に基づく特徴点は、すべての頂点において主曲率値 ( $K_1, K_2$ ) を計算し式(1)を満足するものとする。

$$|K_1| + |K_2| \geq \varepsilon \quad (1)$$

本研究では Alliez らの、近似曲率テンソルの固有値解析に基づく手法[1]によって曲率を算出した。

### 3.3 結線処理

3.2 節の手法で抽出される特徴線は、閾値  $\varepsilon$  の設定にもよるが、ノイズのあるデータに対して断線が生じることが多い。この断線は、例えば、本来特徴線で境界づけられるべき2つのフェイスが1つのフェイスとして認識されてしまう等、正確な対象の特徴認識の妨げとなる。

そこで本手法では、全ての特徴点に対して構造要素を適用し、構造要素内に含まれる特徴点でない点を新たに特徴点とする処理を行い特徴線の連結を行う(図2)。

構造要素は、形状の平坦な方向に特徴線を無駄に太くせず、特徴線に沿った方向の断線された特徴線をつなぐために、曲率値と主方向で定義される楕円体を用いる。この楕円体の長軸の向きは、特徴線に沿った方向となるように、最小主曲率に対応する主方向ベクトルの方向とする。また、各軸の長さ  $d_i$  は、以下の式により決定する。

$$d_i = \alpha \frac{1}{K_i + \beta} \quad (i=1,2) \quad (2)$$

ここで、 $\alpha, \beta$  は、軸の長さの取る範囲を適正にするため

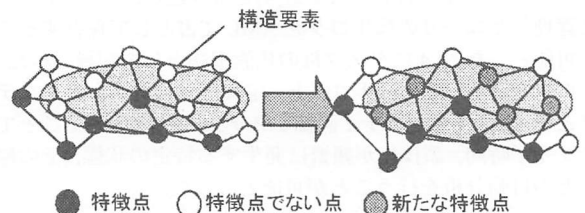


図2 結線処理

の補正值である。式(2)で算出される楕円の軸の長さを用いることで、高い曲率値を持つシャープエッジ上の特徴線はそのエッジの方向に沿って強く連結されることとなる。

### 3.4 細線化処理

初期特徴線抽出および結線処理からはメッシュの稜線の束からなる太い特徴線(図5(b))が得られ、連結部を特定するためにはこれをメッシュの一連の稜線系列にする必要がある。そのため以下に述べる細線化処理を行う。この手法は野村らの方法[2]を改良したものである。

基本処理は、特徴点でない隣接頂点を持つ特徴点を、特徴点から除外することであり、これを必要なだけ繰り返す。しかしながら、この処理を繰り返し適用していくと特徴線に断線が起り、最後には全ての線が消滅してしまう。そこで、以下の2つの条件のどちらか一方を満たすとき、その点を特徴点から除外しないものとする。

- 除外される前後で連結数が変わる
- 連結数が2以上である

ここで、連結数とは、頂点に隣接する特徴点のかたまりの数である(図3)。以上の処理を、特徴点の変化がなくなるまで繰り返す。

最後に、枝状の稜線や、孤立した特徴点の集合を削除するために連結数が1以下の特徴点を逐次的に削除する。結果として特徴線は、その連結部の間でメッシュの一連の稜線系列になる。

### 3.5 形状特徴グラフの形成

細線化処理によって得られた特徴線を基に、形状特徴グラフを作成する。まず、グラフのノードとなる、特徴線の連結部を検出する。特徴線を形成する特徴点が以下のどちらかの条件を満たすとき、それらを一つのノードとして検出する。

- 隣接に特徴点が3つ以上
- 特徴点のみからなる三角形または繋がった三角形の集合を構成する(図4)

次に、抽出されたノードから特徴線をたどり両端のノードを検出しアークとする。最後に、ノードとアークで囲まれた領域をフェイスとして抽出する。

## 4 実験と評価

本手法を用いて、スキャン・設計データからの形状特徴グラフの抽出を行った。スキャンデータには、データの抜けがあるデータとないデータの2種類のデータに対してグラフ抽出を行った。設計データは、設計データから取得できるメッシュから精度の高い曲率算出を可能にするためにその稜線の長さを一定値以下になるように分割し、更に、境界線(輪郭線)を取り出すために、任意の方向から見える部分だけを取り出したメッシュを用いてグラフの抽出を行った。(図5(d))

抽出の結果、結線処理、細線化処理によって断線していた特徴線が連結され、一連のメッシュ稜線の系列からなる特徴線が抽出できた(図5(a)-(c))。また、データの抜けのないスキャンデータからは設計データからの形状特徴グラフと同位相のグラフが抽出できた(図5(e)(f))。データの抜けのあるスキャンデータの場合には、基本的な構造を表す特徴線、特徴点が抽出されているが、データの抜けの部分から多数のノード、アークが生成されている(図6)。これらの認識において不要な要素の除去は

今後の課題である。

## 5 まとめ

シーン内における設計対象の存在有無、位置姿勢を自動認識する環境認識システムに用いる形状特徴グラフ抽出手法を提案し、ノイズ、抜けのあるデータに対して形状の基本的な構造を表すグラフが抽出可能であることを確認した。今後の課題として、データの抜けに起因する認識に不要なグラフの要素の除去、及び環境認識アルゴリズムの構築が挙げられる。

[参考文献]

- [1] Pierre Alliez et al., Anisotropic polygonal remeshing, Proc. of SIGGRAPH2003, 485-493 (2003)  
 [2] 野村優, 浜田望, 細線化処理を利用した三次元メッシュ形状の特徴線抽出, 第62回情報処理学会全国大会講演論文集, 2D-04 (2001)

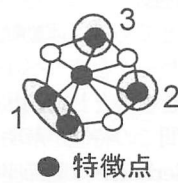


図3 連結数

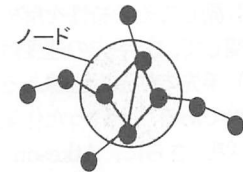
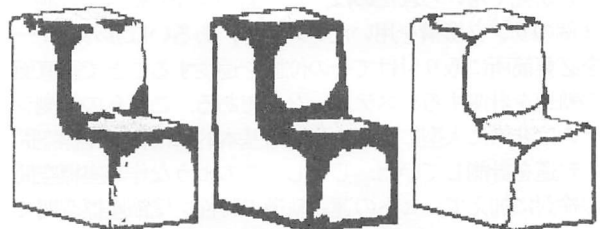
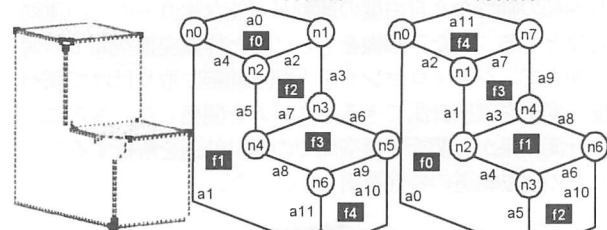


図4 特徴点のみで形成される三角形集合のノード



(a) 初期特徴稜線 (b) 結線された特徴線 (c) スキャンデータの特徵線



(d) 設計データの特徵線 (e) スキャンデータの形状特徴グラフ (f) 設計データの形状特徴グラフ

図5 提案手法の適用結果

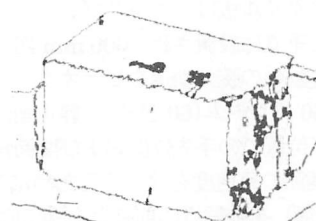


図6 シーンデータから得られた形状特徴線 (対象はシーン内にあるダンボール)