

不完全な曲面要素からの部材形状再構成

東京大学 ○松岡 諒, 増田 宏

Reconstruction of Structure Shapes from Fragmented Surfaces

The University of Tokyo: Ryo Matsuoka, Hiroshi Masuda

Large-scale facilities are composed of many primitive shapes, such as spheres, cylinders, planes, cones, and tori. Several methods have been proposed for detecting these surfaces from a large-scale point-cloud. In this paper, we discuss how to combine fragmented surfaces to reconstruct complete shapes of connected pipes. For efficiently detecting connected components, we use an image-based method. We search neighbor surfaces on a Mercator image, and detect combinations that satisfy predefined types of relationships.

1. はじめに

近年のレーザスキャナの性能向上に伴い、計測された大規模点群データからプラントの三次元形状を再構成するための手法の開発が求められている。点群データから効率的に形状再構成することが出来れば、改修や保守等のシミュレーションに利用することができる。我々はすでに部材を構成する円柱要素と平面要素を自動的に検出する手法について示した[1]。実用的な3次元モデルを生成するためには、検出した曲面を組み合わせることによって部材の形状を再構成する必要がある。

本研究では、離散的に検出された曲面要素を組み合わせ、部材形状を再構成する手法に関して検討する。

2. 探索画像の生成

2.1 連結成分の検出

まず、取得した点群座標を

$$(x, y, z) = (r \cos \theta \sin \phi, r \sin \theta \sin \phi, r \cos \phi)$$

を満たす球面座標 (θ, ϕ, r) に変換し、各点を (θ, ϕ) 平面に写像することによってメルカトル画像を生成する。

メルカトル画像上では、隣接する点間の距離を調べて、連結領域に分割する。式(1)は、隣接する点在同一面上に存在すると仮定したときの点間距離である。ここで、 $\Delta \phi$ はレーザのサンプリング角度、 p_i は座標、 n_i は点 p_i の近傍に平面を当てはめたときの法線ベクトルである。もし、隣接する点がこの距離と同等か小さいならば、連結であると看做すものとする。

$$d = \frac{\Delta \phi |p_i|^2}{(p_i, n_i)} \quad (1)$$

図1は、連結領域を異なる色で表示した図である。



図1 色分けされた連結領域

2.2 曲面の自動検出

次に、検出された連結領域に対してRANSAC法を適用することで曲面を検出する。RANSAC法はロバストであるが、大きな領域から小さい曲面を検出するには、非常に多くの試行が必要となる。こ

こでは、大規模点群を実用的な時間で処理するために、十分な個数の領域が検出された場合、検出された領域を点群から除去し、再帰的に領域を更新することによって曲面探索領域を限定する方法を用いている。図2は検出された円柱要素と平面要素を表示したものである。

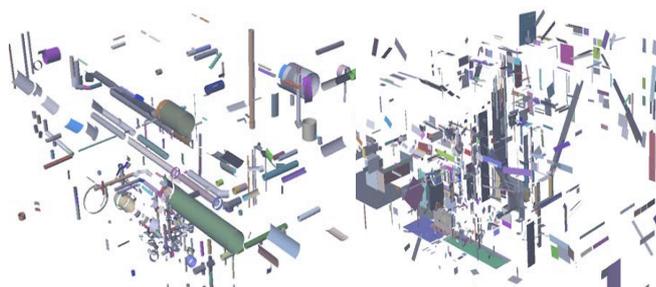


図2 検出された円柱要素 検出された平面要素

2.2 曲面に関する情報を持つメルカトル画像

本研究では、メルカトル画像の各画素に関して、図3に示すように、座標、連結成分の領域番号、検出された曲面番号を記述する。また、曲面に関しては、各番号から方程式が得られるものとする。

本研究では、曲面検出後に点群をメルカトル画像上に投影し、画像上の近傍情報を用いて、部材を構成する曲面同士の接続関係を推定することを考える。

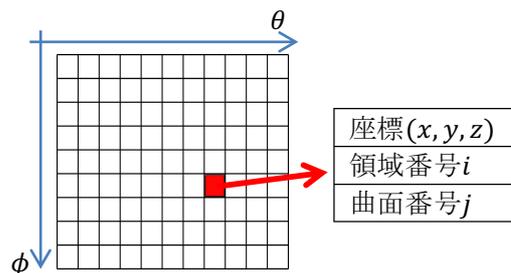


図3 画素の持つデータ

3. 画像上での接続関係の検出

曲面間の接続関係の検出は、画像上で曲面領域周囲を探索することで行う。例として図4のように円柱領域C1が得られている場合には、画像上で周囲を探索することによって近くに接続可能な領域が存在するかどうかを調べる。この例の場合だと、未検出領域U1を介して同軸上にあり、かつ半径が等しい円柱領域C2を検出できる。

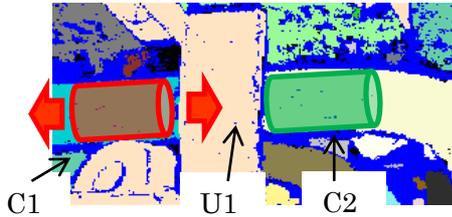


図4 接続関係の検出例

本研究では以下の場合に関して検討し、接続関係を推定することを考える。

(1) 同一の連結領域内の直交する円柱

二つのパイプが 90° エルボによって接続する場合には、図 5 のように二つのパイプ C1, C2 が円柱領域として検出出来ている一方で、エルボの部分に関しては何も検出出来ていないか、一つないしは複数の円柱が検出されている場合を想定する。この場合には、同一連結領域内で円柱領域の周囲を探索し、直交する円柱領域が存在するか調べる。また、このような接続関係を Elbow(C1, C2) のように表す。

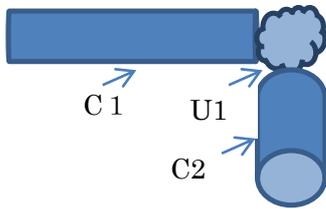


図5 同一領域内の直交する円柱

(2) 円柱と平面の接続

片面が見えているフランジによって二つのパイプが接続する場合の検出がそれに相当し、画像上で図 6 のように曲面が得られていることを想定する。隣接する円柱と平面が直交しているような接続関係を \perp (円柱, 平面) のように表記すると、この場合には同一連結領域内で、 $\{\perp(C1, P1), \perp(P1, C2)\}$ のように接続する領域を検出する。さらに領域に隣接する他の領域を探索し、検出した円柱 C1 と同軸を共有し、かつ半径が等しい関係にある Coaxial(C1, C3) を満たすような円柱領域 C3 が存在するかどうかを調べる。

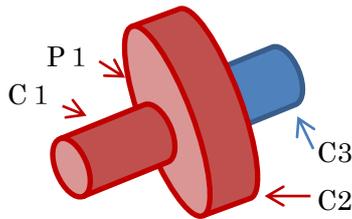


図6 円柱と平面

(3) 同軸上の半径の異なる円柱

平面部分が見えていないフランジによって二つのパイプが接続する場合には、図 7 のように接続していると考えられる。C1 と C2, C2 と C3 はそれぞれ軸が同軸上にある関係 Coaxial(C1, C2), Coaxial(C2, C3) を満たす。また、C1, C2, C3 はお互いに非連結である。

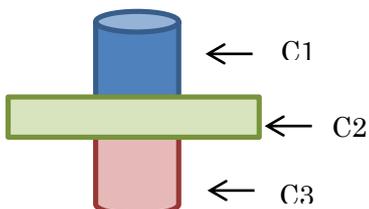


図7 同軸上に並ぶ円柱

(4) 分断された同一の円柱

パイプの一部が他の部材によって隠されている場合には、画像上で図 8 のような接続関係になっていると考えられる。C1 と C2 は軸の向きと半径が等しい関係 Equal (C1, C2) の関係を満たす。また領域 U1 に関しては C1 と C2 とは接続していないと考えられる。C1, C2, U1 はお互いに非連結である。

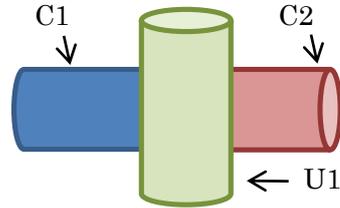


図8 同軸上の分断された円柱

(5) 隣接して直交する円柱

パイプが T 字型に接続している場合には、画像上で図 9 のように接続していることが考えられる。C1 と C2 が隣接し、軸が直交している関係 Tee(C1, C2) を満たす。

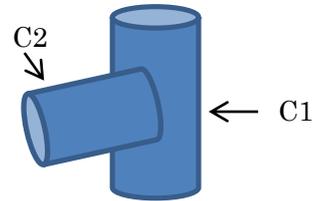


図9 隣接して直交する円柱

4. 例題

本手法を適用した例を図 10 に示す。左図のように曲面領域が得られている場合には、右図のように接続関係を検出できる。紫色で示したのは、接続された部分である。これらは複数 s の連結成分から構成されており、 \perp (円柱, 平面), \perp (平面, 円柱), Coaxial (円柱, 円柱), Equal (円柱, 円柱), Tee (円柱, 円柱), Elbow (円柱, 円柱) の関係が含まれている。

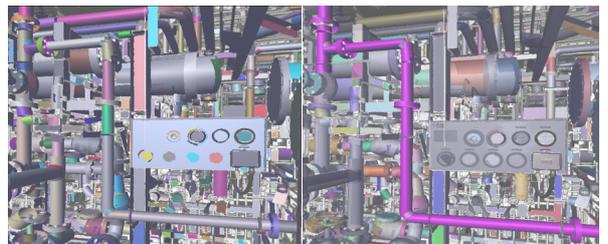


図10 接続関係の検出結果

5. まとめ

自動検出した曲面に関して、メルカトル画像上で接続関係を検出することによって組み合わせる手法に関して検討した。本手法は、接合すべき曲面の探索にメルカトル図を用いているため、高速な処理が可能である。検出率については、実際の計測データを用いて検証を行っているところである。今回は、円柱間関係と円柱・平面間関係のみを扱ったが、それ以外の関係については今後検討していく。また、配管にはバルブが接続することもある。バルブは楕円体で近似できるので、今後、画像上でバルブの存在する領域を検出する手法に関して検討していく予定である。

参考文献

[1] 増田宏：大規模点群からの曲面抽出に基づく生産設備の形状再構成，精密工学会秋季講演会，2012