

大規模点群からのプラント設備の形状再構成

東京大学 ○松岡 諒, 増田 宏

Reconstruction of Structure Shapes of Facilities from Large-scale Point Cloud 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 so far been proposed for detecting these surfaces from a large-scale point-cloud. Our previous work discussed how to combine fragmented surfaces.

In this paper, we discuss how to generate 3D-models of structure shapes such as pipe, elbow, tee, bulb, and flange. For generating 3D-models of structure shapes, we consider combination among fragmented surfaces.

1. はじめに

レーザスキャナでの計測により得られた点群からプラントの形状を再構成することができれば、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。既存研究により、部材の一部を円柱や平面として検出する手法や、作業者の操作を補助するような手法に関しては多く検討されている。一方で、作業者の負担を減らすために、フランジやエルボ、ティーなどの部材を認識しつつ、設備全体の形状モデルを自動生成する手法の開発が求められる。

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と、検出した曲面要素間の接続関係を抽出する手法について検討した[1][2]。本稿では得られた接続関係を用いることで、円柱や平面による形状抽出が難しい部材の位置を予測し、部材の工業規格や可視性を考慮することにより、計測された領域に関して形状モデルを自動的に生成することについて検討する。

2. 曲面要素間の接続関係検出

2.1 曲面の自動検出

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。 (θ, ϕ) 平面上では、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、隣接する点が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。隣接する点がこの距離と同等か小さいならば、連結する。

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

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円柱、平面の曲面を検出する。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、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。

2.2 画像上での接続関係検出

検出された曲面上の点群を (θ, ϕ) 平面上に投影し、各画素を曲面要素と関連付ける(図1)。画像上の各画素には、座標、連結成分の領域番号、検出された曲面番号が記述される。また、曲面に関しては、各番号から方程式が得られる。

次にそれぞれの画素に関する近傍情報を用いて、部材を構成する曲面要素同士の接続関係を検出する。曲面の組み合わせとして、以下の条件を満たす関係を検出する。

(1) 軸を共有する二つの円柱要素

(2) 直交する二つの円柱要素

(3) 軸方向と法線方向が一致する円柱要素と平面要素

(4) 法線方向が直交する二つの平面要素

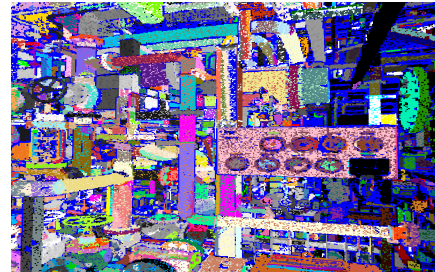


図1 画素の持つデータ

3. 部材モデルの生成

前章で示した手法によって得られた曲面要素間の接続関係を用いてそれぞれの部材を生成する。

3.1 パイプ

軸を共有する円柱要素のうち、半径が等しいとみなせるものをグループ化してパイプを生成する。接続関係グラフから同軸同半径の関係で接続する連結成分を取り出すことによってグループ化できる。グループに属する円柱要素上に存在する点群を統合し、円柱形状を再計算する。計算されたパラメータをパイプ形状のパラメータとし、パイプのモデルを生成する。図は本手法を適用した例である。

本研究ではパイプのモデルを生成することを目的としているので、パイプではないと思われるものは排除する。検証においては得られた円柱の長さが一定値以下である場合にはパイプではないとした。

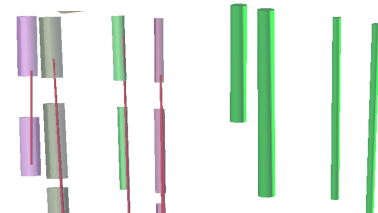


図2 パイプ

3.2 エルボ

エルボのモデル生成においては、直交する円柱要素の接続関係のうち、片方の円柱要素の軸方向の延長線上にもうひとつの円柱要素が存在しないような組み合わせを用いる。ティーの断片が複数の円柱要素に分断されてしまい、誤ってエルボが生成されてし

もう場合も考えられるが、(1)で示した手法によって同軸上の円柱要素をあらかじめパイプとしてまとめ、再び接続関係を検出することによって改善できる。

エルボの生成においては、直交する二つのパイプが同じ半径を持つ場合を想定した。接続するパイプの径が分かっている場合には、工業規格からパイプのサイズの一意に決定できるため、規格に最も近い形状を生成する。また、接続する曲面要素の両端が分かっているため、円柱要素として未検出なパイプ領域を自動的に補完して部材モデルを生成できる。エルボはパイプ同士を接続する場合以外にもフランジとパイプを接続する場合も考えられるが、バルブ周辺などの部材が密集している領域においては誤った生成が多くなってしまったため、本稿ではパイプ同士を接続する場合に限定した。

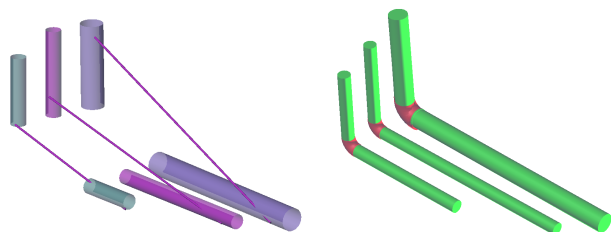


図3 エルボ

3.3 ティー

直交する円柱要素の接続関係のうち、片方の円柱要素の軸方向の延長線上にもうひとつの円柱要素が存在するような組み合わせを用いる。エルボと同様に、(1)で示した手法によって同軸上の円柱要素をあらかじめパイプとしてまとめ、再び接続関係を検出することによって誤ったモデル生成を減らすことができる。

二つの円柱の径を入力として取り、規格においてもっとも近い形状を採用してティーの形状モデルを生成する。

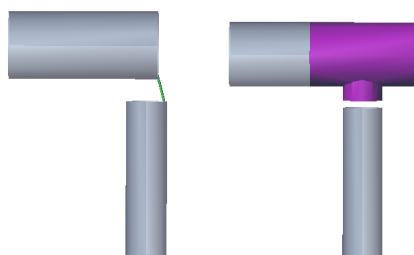


図4 ティー

3.4 バルブ

楕円体の探索領域は、図のような同軸上に存在する円柱の接続関係を用いて推定できる。バルブは同軸上に存在する、離れた二つのパイプの間に存在するので、近接領域では検出されず、離れた領域で初めて検出された同軸を共有する円柱の接続関係を候補とする。バルブは軸が既知の楕円体として形

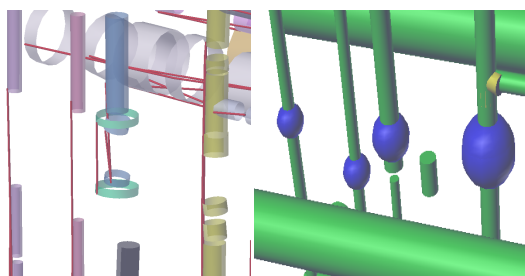


図5 バルブ

状生成することができるが、楕円体当てはめの場合には円柱形状や平面形状にも当てはめようとする傾向があるので、半径比とスケールに対して制約を付加し、条件を満たさないものは棄却する。

3.5 フランジ

フランジは主にパイプ同士を接続する部材であるため、パイプを構成する円柱要素とフランジを構成する平面要素または円柱要素同士の接続関係が得られていると考えられる。フランジに関してもサイズが規格で定められているため、候補となる接続関係からフランジの候補を得る。フランジの候補に対してモデル上に存在する点の個数や、スキャナ原点からの可視性を考慮して、妥当と思われる候補のみを採用してフランジの形状モデルを生成する。

4. 検証

設備全体においてパイプ、エルボ、ティー、バルブのモデル生成に関する検証を行ったところ、図6のように設備全体のモデルを自動的に生成した。

パイプ、エルボ、ティー、バルブに関して、生成数と正解数を検証し結果表1のような結果が得られた。

表1 部材形状の生成結果

	生成数	正解数	正解率
パイプ			
エルボ			
ティー			
バルブ	5	4	80(%)

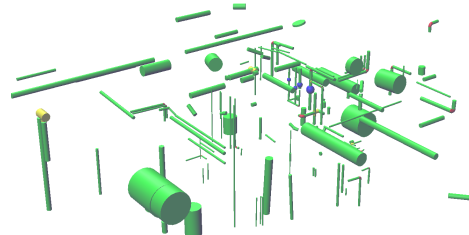


図6 設備全体のモデル

5. まとめ

検出した接続関係を用いて、パイプ、エルボ、バルブ、ティー、フランジなどの部材のモデルを自動的に生成する手法を示した。今後は、正解率を向上させる方法について検討するとともに、鋼材や機材などの平面要素の集まりによって構成される部材の形状モデルを自動的に生成する手法に関しても検討する。

今回は、1つのスキャンデータから部材モデルを生成することに関して検討したが、プラント設備においては計測原点から見える領域に限られるため、生成できる部材も計測原点から見える範囲の部材に限られてしまう。改修や保守などのシミュレーションに利用できるようなモデルを生成するためには、複数のスキャンデータを用いてプラント設備の形状を再構成することが必要である。今後はそのための手法に関して検討する予定である。

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
- [2] 松岡諒：精密工学会春季講演会