

大規模点群からの既知部品の検出とパラメータの同定

東京大学 ○藤井智, 増田宏

Extraction and Positioning of Standard Parts in Large-Scale Point-Cloud

The University of Tokyo, Satoshi Fujii, Hiroshi Masuda

3D models of industrial plants are useful for simulating the maintenance and renovation. We aim to reconstruct 3D models of components from large-scale point-clouds captured from industrial plants. Components in industrial plants typically consist of simple surfaces, such as planes, cylinders, and so on. We detect surface regions from a point-cloud and search the combinations of surfaces that fit into standard parts. Since many candidates of 3D models are often generated, we introduce a verification method for determining 3D shapes and positions of components.

1. 目的

生産設備やプラント施設などの迅速な改修は重要な課題である。現物からの3Dモデル作成が短期間かつ低コストで行えれば、モデルベースの作業検討によって、手戻りのない効率的な作業が可能となる。近年では、レーザスキャニング装置の急速な進歩により、大規模設備の点群計測が短時間で容易に行えるようになってきた。

しかし、数千万点から数億点規模の点群から効率よく3Dモデルを作成するツールはまだ未成熟であり、現状ではモデリングに熟練と根気と長時間の作業が必要となる。本研究では、大規模施設の計測から得られた点群データから、大規模設備を構成する部材のモデリングをできるだけ簡単に行えるシステムを考える。

プラント等の生産設備を構成する部品は規格品が多く、配管などは曲面当てはめによって、基本的な部材パラメータを得ることができる[1]。一方で、生産設備内には、複数の平面や曲面の組み合わせによって構成される部材も存在する。本研究では、こうした複数の面から構成される部材の位置とパラメータを同定することを考える。設備や建造物などにおいては、H鋼や溝型鋼などの多くの部材は、主要寸法が工業規格によって定められており、主要寸法が決まれば、形状が決まる。そこで、規格部材のパラメトリックモデルを用いて、点群から部材の形状と位置を計算する手法を考える。

2. 処理の概要

2.1 点群データと明暗画像

計測によって得られた点群は、座標と輝度を持つ。位相差方式のレーザ計測装置を用いた場合、毎秒50万~100万点が取得できるため、5分程度で非常に密な点群が取得できる。本研究では、1回のスキャンによって得られた約5000万点の点群を用いている。

密な点群の輝度を平面上に写像することで、明暗画像を作成することができる。明暗画像は、座標と関連付けることができるので、本システムでは、この明暗画像をユーザが点群を選択するためのインターフェースとして用いている。

2.2 前処理

計測された点群は多くの誤差と異常値を含むため、ストリーミング方式によるメッシュの生成手法とロバスト推定に基づく平滑化手法[2]を用いて大規模点群を平滑化メッシュへ変換する。このメッシュ

モデルは、近傍頂点を効率的に探索するために用いる。

2.3 部材のモデリング

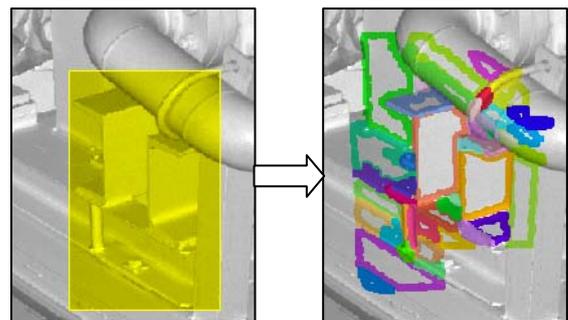
ユーザは部材の種類と、部材を探索したい画面上の領域を選択する。システムは、選択領域から平面領域を探索し、部材に適合する面の組み合わせを探す。次に面の組み合わせから、部材のパラメータと位置を計算して解候補を算出する。多くの解候補が得られるため、適合性を評価するための指標として、適合点の個数と矛盾点の個数を指標として、最も適合するものを解とする。それにより、ユーザは、部材の種類と領域の選択をするだけで部材のパラメータを得ることができる。

3 複数面から構成される部材のモデリング

3.1 平面領域の抽出

メッシュから平面領域を抽出するために、領域成長法を用いる。Fig.1(a)に示すように、ユーザは、透視投影画像上で矩形領域を選択する。この領域は部材を構成する各面の少なくとも一部が含まれるように選ぶ。本研究では大規模メッシュを扱うため、処理に必要な部分のみを実メモリからロードする Out-of-core 法を用いている。ここでは、選択領域のメッシュデータがRAM上にロードされる。

次に、選択された領域の平面部を抽出する。領域成長法では、シード領域に近傍頂点を追加して平面領域を拡大していく。ここでは、適切なシード領域を選択するために、各頂点 v_i の近傍頂点 $N(v_i)$ に平面当てはめを行い、残差の少ない順番に頂点群 $N(v_i)$ をシード領域として領域成長を行う。もし、 $N(v_i)$ の頂点が既に平面として選択されていたらスキップする。また、領域成長に伴い、平面同士がオ



(a) Selection of feature region.

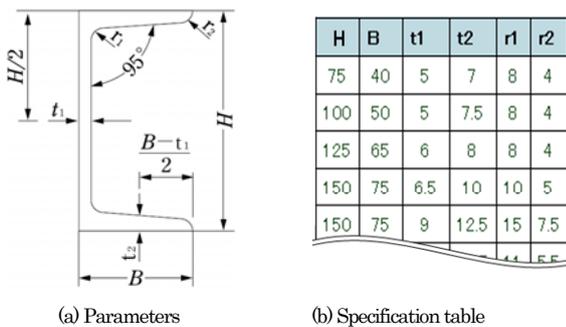
(b) Selected planes.

Fig. 1 Extraction of planar regions

一オーバーラップした際は、それぞれの平面の残差を比較し、残差の小さい領域を優先する。Fig.1(b)は、領域成長により抽出された平面領域を示している。なお、ここでは、近傍頂点数を50個とした。

3.2 部材のパラメトリックモデル

部材のパラメトリックモデルは、あらかじめ作成されているものとする。Fig.2に規格で定められた溝型鋼のパラメータを示す。各パラメータ値の組み合わせは、規格によって決められている。部材の種類はユーザが指定しているので、主要パラメータの一部が推定できれば、規格表から形状モデルの候補を絞り込むことができる。



(a) Parameters (b) Specification table
Fig.2 Parameters of standard parts

3.3 部材の当てはめ

メッシュから抽出した平面集合から、部材パラメータと位置を計算する。Fig.2の例では、面間距離で指定されているパラメータHに着目し、平行な面の組み合わせを探索する。平行な面間距離から高さHが決まり、規格表を参照することで他の主要寸法が絞り込める。一意に決まらないときは、可能なすべての解を考える。

次に、それらの面に直交する面を選ぶ。それによって、部材の位置は、Fig.3に示すいずれかであることが推定できる。可能なすべての寸法と位置を算出して、対応する3Dモデルを作成する。

3.4 解候補の検証

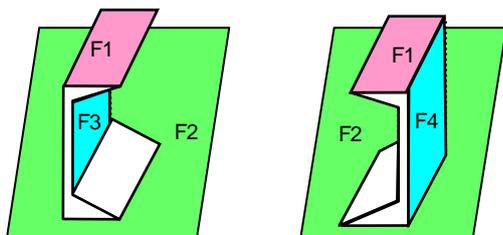


Fig.3 Candidates of positions

前節の手順では多数の解候補が算出されるが、誤った解も含まれている。また、出来る限り高い精度で当てはまっている解を選択したい。そこで、以下の計算を行う。

- (1) 候補の3DモデルをFig.1に示した透視投影画像上に投影し、その領域に含まれる点群Vを求める。
- (2) 計測原点Oと点群Vの各点 v_i とを結ぶ半直線を求め、3Dモデルとの交点 q_i を計算し、距離 $d = |q_i - v_i|$ を計算する。

次に、以下の検査を行う。

- (1) 距離dが閾値内である点の個数 N_{fit} を求める。 N_{fit} が小さい解は棄却される。また、閾値内の距離の平均を求めておく。
- (2) 3Dモデルの背後の面は計測されないはずなので、もしそのような点があれば解が正しくない可能性が高い。そこで、 $|v_i - o| - |q_i - o|$ が閾値より大きくなる点の個数

N_{fault} を求める。 N_{fault} が大きい解は破棄される。

以上の検査で複数の解候補が得られた場合には、Fig.4の例のように、パラメータと位置が同一と見做せる解をグルーピングし、各グループから(1)で計算した距離dの平均が最小のものを採用する。

以上の処理によって得られた3Dモデルを、Fig.5に示すように画面上にワイヤフレーム表示する。ユーザは表示されたモデルと画像とを比較し、不適切な解があれば削除する。

なお、部材の長さのように規格表にない寸法も存在する。ここでは、Fig.1(b)で抽出した平面領域を用いて値を求めたが、部材が他の部材に隠されている場合には、正しい寸法が得られない。そのような場合には、マウスをドラッグして形状を編集するインタラクティブな形状操作を用いて長さを修正する。

なお、計算時間は部材の大きさ(探索する領域)によって異なるが、通常のノートPCを用いて0.5秒〜2秒程度である。

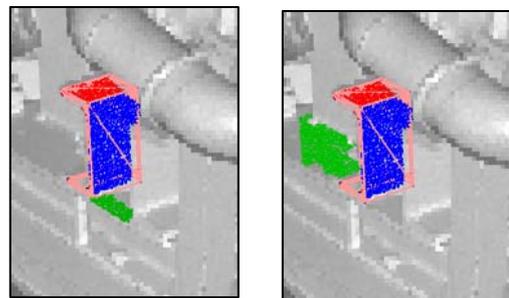


Fig.4 Two candidate positions of the same part

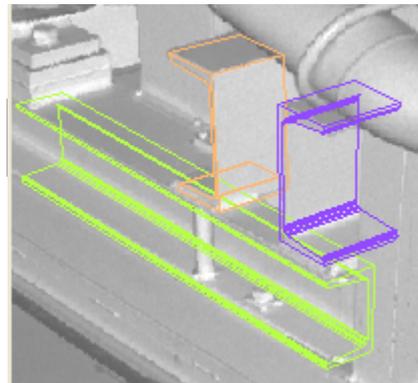


Fig5 Constructed 3D models

4.まとめ

本稿では大規模メッシュからの部材のパラメータの推定手法について述べた。単一曲面では表現できない柱状の鋼材について、メッシュから抽出した平面領域から、鋼材のパラメトリックモデルに適合する平面の組み合わせを探索することによって、パラメータの同定を行った。

今後の課題として、抽出できる部材の種類を増やす必要がある。また、決められた形状だけでなく、ユーザによって任意の柱状物を抽出できるようなシステムが必要である。

参考文献

- [1] 対象物の制約を用いた点群データからの幾何曲面抽出: 増田宏 年度精密工学会秋講演会 2009
- [2] 大規模点群データのための平滑化処理の高速化: 村上健治, 藤井智, 増田宏, 精密工学会秋季講演会 2009