

大規模点群からのエッジ抽出を用いた円柱面と矩形面の検出

東京大学 松沼千央, O阿部佑二, 増田宏

Reconstruction of Cylinder and Rectangle Faces by Detecting Edges in Large-Scale Point-Cloud

The University of Tokyo: Chihiro Matsunuma, Yuji Abe, Hiroshi Masuda

In this paper, we propose a method to automatically extract cylindrical faces and rectangle faces from a large-scale point-cloud. Since it takes a lot of time to search surfaces in a large-scale point-cloud, we extract straight lines using image processing techniques and estimate candidates of cylindrical and rectangle regions. Then, we calculate equations of surfaces by applying the region-growing method only to the candidate regions for detecting rectangle and cylindrical faces. Our method can be applied to very large point-clouds in a streaming manner.

1. 目的

中・長距離の計測ができるレーザスキャナが急速に進歩しているが、大規模な計測データから 3D モデルを作成することは容易ではない。生産設備の計測では多数の鋼材が混在した点群が得られるが、個々の鋼材に対応する点群の自動選別は難しく、長時間の作業と熟練が必要となる。工学的に意味のある単位に点群を自動分割できることが望ましいが、ノイズや異常値の影響が大きい点群データでは、曲率などの微分幾何量を用いた自動分割は難しい。

一方で、生産設備やプラント施設に使われる鋼材には平面と円柱が多く、さらに平面は長方形であることが多い。また、配管の接続部材のトーラス面や円錐面は、接続する配管が決まれば、JIS 等の規格から形状が決定する。溝形鋼などの鋼材も、一部の面の長方形が決まれば、規格表から全体形状が決定できる。そこで、本研究では、点群からの 3D モデル作成を支援するために、大規模点群から円柱面と矩形面を自動的に検出することを考える。

2. 処理の概要

レーザスキャナで計測された計測点は、3次元座標とレーザ反射強度を持っているので、そのそれぞれから、距離画像と明暗画像が作成できる。図 1 を用いて本手法で提案する処理の流れを説明する。まず、レーザスキャナで計測された点群から、図 1(a) の明暗画像と図 1(b) の距離画像を生成する。次に、明暗画像と距離画像のそれぞれから、近傍との差が大きい画素を特徴点として抽出する (図 1(c) (d))。これらの特徴点の 3次元座標を用いて、直線成分を検出する (図 1(e))。円柱においては母線が、矩形面では相対するエッジがほぼ平行な直線のペアとして得られるので、直線に挟まれた領域に円柱や平面が存在するかを調べ、十分な精度で検出できれば、曲面式として採用する (図 1(f))。

大規模点群処理では非常に多くのメモリと計算時間を要するが、本研究では 2次元画像から矩形面や円柱面が存在する領域を推定し、局所的な曲面抽出を行っているため、少ないメモリで効率的に処理を行うことが可能である。

3. 円柱面と矩形面の検出

3.1 画像からの特徴点抽出

点群の座標値を球面座標 (r, θ, ϕ) で表現し、各点を $\theta\phi$ 平面上

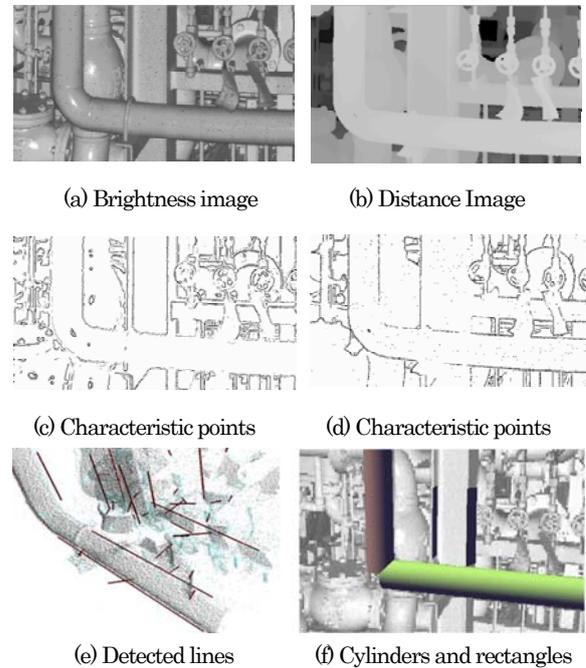


Fig. 1 Procedure of surface detection

に写像する。このとき、画像の画素値としてレーザ反射強度を用いれば明暗画像が生成され、計測原点からの距離を用いれば距離画像が生成される。これらの画像からエッジを抽出する。輪郭線では距離が非連続的に変化するので、距離画像の特徴点として安定して計算できる。一方、輪郭以外のエッジ上では、明暗画像を用いて明度の非連続的な変化を検出する。

特徴点抽出には様々なフィルタが知られている。本研究では、距離画像と明暗画像のそれぞれにおいて、代表的なフィルタを適用し、結果を比較した。ここでは、距離画像から輪郭線を抽出するために、デプスエッジ、Sobel フィルタ、Laplacian フィルタを適用し、輪郭線以外の線分を検出するために、明暗画像に対して Sobel フィルタ、Laplacian フィルタ、Canny Edge Detection を適用した。

結果を図 2, 3 に示す。この結果より、距離画像からの特徴点検出に Laplacian フィルタを、明暗画像では Canny Edge Detection が適していると考えられ、これらのフィルタを採用することとした。

なお、これらのフィルタでは8近傍の点だけを用いるので、大規模な点群においては、ストリーミング形式での計算が可能である。

3.2 直線成分の計算

点群から生成される画像は、球面を平面に展開したものであるため、直線が歪んでいる。そこで、直線成分の検出は特徴点の3次元座標を用いて、3次元空間で行う。

まず、画像から計算された特徴点のうち、直線上に乗っている可能性が高い点群を求め、シード点とする。ある点がシード点であるかの判定は、その近傍領域を調べることで行う。近傍領域は、画像の特徴点抽出で用いた Sobel フィルタを利用する。このフィルタでは、垂直と水平の2方向の変化を検出するマスクを用いるので、その比から勾配方向を計算できる。この角度に応じて、画像上で図4に示す近傍領域を考え、この範囲に含まれている特徴点を抽出する。それらの点に関して共分散行列を求め、最大固有値が十分に大きければ、シード点として採用する。

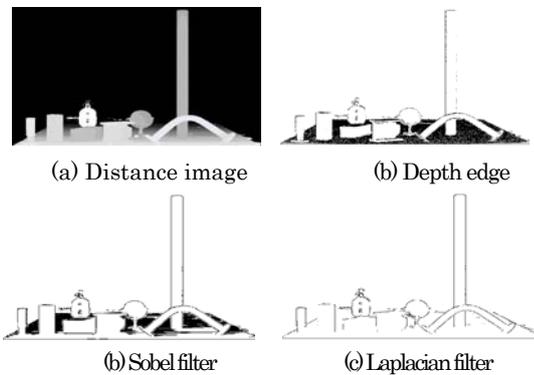


Fig. 2 Feature points in a distance image

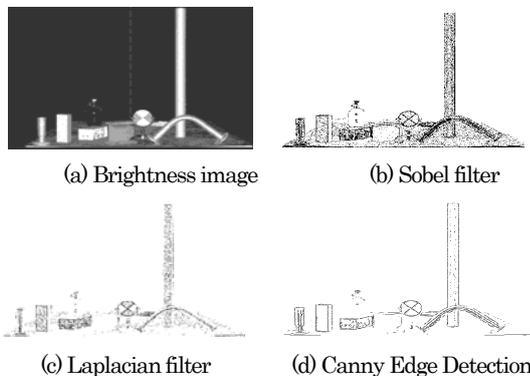


Fig. 3 Feature points in an intensity image

直線の検出では、まずシード点を直線候補点リストに加える。次

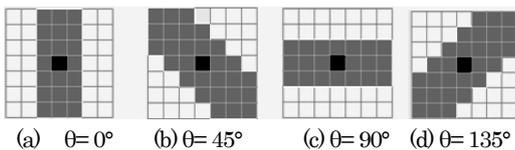


Fig. 4 Neighbors of a trigger point

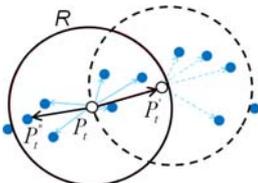


Fig. 5 Detection of points on a line

に、図5に示すように、候補点リストの点を中心とする半径Rの球を考え、その内部の点群が直線上に乗っていれば直線候補に加える。この処理を直線候補点リストの点に繰り返し適用し、直線を延長していく。最終的に、直線候補点リストに含まれる点の個数が閾値よりも大きくなれば直線として検出し、小さければノイズとみなす。

点群データにはノイズが含まれており、同一線分であっても複数の線分として検出されることがある。そこで、線分同士を結合する。ここでは、検出された2本の線分が、(1) 2直線のすべての端点が同一直線上に乗っている、(2) 2直線の端点の距離の最小値が閾値より小さい、を共に満たす場合、線分同士を結合する。

3.3 曲面検出

矩形面では2組の平行な2直線が存在する。円柱では母線として、平行な2直線が現れる。そこで、検出された直線のうち、向かい合っている平行な直線ペアを選ぶ。直線ペアが稜線か母線であるならば、線分の間に挟まれた領域は同一曲面上に乗っているはずである。そこで、直線ペアに挟まれた領域を考え、その領域を曲面検出のシード領域とする。ただし、稜線や母線の付近では異常値の影響を受けやすいので、やや内側の領域をシード領域として設定する。

シード領域に対して領域成長法を適用し、曲面を検出する。許容誤差内での曲面の算出に失敗した場合や、領域成長法で得られる点の個数が少ない場合には、その直線ペアを棄却する。平面が検出された場合には、直線ペアがエッジとなるような領域を平面上に作成し、矩形面を作成する。

3.4 評価実験

本手法を適用した結果を図6に示す。十分大きな円柱面と矩形面に関しては検出できており、この結果から、本手法を補助的に用いることで、作業効率を向上させることができると考えられる。

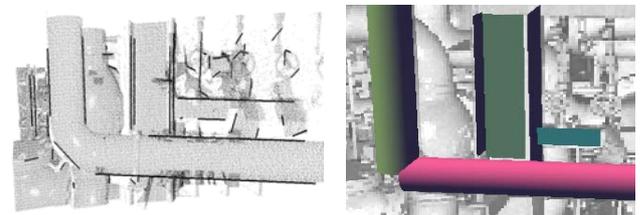


Fig. 6 Feature lines and detected faces

4. まとめ

本稿では大規模点群から直線成分を検出することによって、円柱面と矩形面が存在する場所を推定し、その領域に対して領域成長法を適用することで円柱と矩形面を検出する手法を示した。

直線検出にはいくつかの閾値を用いる必要があるが、この調整についてはまだ検討の余地がある。直線検出の安定性や曲面抽出の安定性についても、さらなる評価が必要である。また、小さい部材や分断された部材の解釈などは作業者と対話的に行うことが必要ではあるが、それらへの対応も今後の課題である。なお、本研究は科学研究費補助金(21360069)の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 大規模点群平滑化のためのストリーミング処理: 増田宏, 村上健治, 精密工学会論文誌, 76(6), 2010.
- [2] コンピュータビジョン: Forsyth, D. A., Ponce, J., 共立出版, 2007.