

# 移動計測データを用いた道路周辺地物の形状再構成

東京大学 ○小栗昇悟, 敷地琢也, 増田宏

## Shape Reconstruction from Mobile Mapping Data

The University of Tokyo: Shogo Oguri, Takuya Shikichi, Hiroshi Masuda

In recent years, rapid and efficient 3D measurement can be achieved because of advances in scanning technology. A mobile mapping system (MMS) makes it possible to get huge point cloud data of roads and features. However, it is difficult to stably reconstruct 3D models from mobile mapping data because the data are very noisy and the density is low. In this paper, we consider a method to reconstruct 3D models automatically and robustly. We apply Delaunay triangulation in detecting poles, and the Dijkstra's algorithm in modeling street light. In addition, we show a method for separating adjacent features.

### 1. はじめに

近年, レーザスキャナによる 3 次元計測技術が目覚ましい発展を遂げている. レーザスキャナと CCD カメラ, GPS, 慣性計測装置 (IMU) を自動車に搭載した移動計測装置 (Mobile Mapping System. 以下, MMS) が開発され, 道路周辺の地物については短時間で広範囲にわたって計測することが可能となった. 実際に活用できる情報を得るために, 点群データからの地物の形状の再構成できれば有用である. しかし MMS による移動計測によって得られる点群データは密度が小さく精度が低いという問題がある. そのため, そのようなデータであっても, 安定して形状再構成ができる手法を考えることが必要である.

我々は, 既に移動計測データからの形状再構成手法を提案しているが [1], 十分に高い成功率ではなかった. たとえば, 柱部分の再構成時に異常に太い柱が生成されてしまったり, 標識部分の平面については一部しか再現されなかったりすることがあり, 信頼性に問題があった. そこで, 本研究では, より頑健性の高い自動的な形状再構成手法を考える.

### 2. 問題点と方針

移動計測で得られた点群データでは, 路面の上に多数の地物が存在する. したがって, 路面を抽出できれば, それに該当する点群を除外することにより, 地物のみを抽出できる. また, kd ツリーを用いて, 近傍にある点群をグルーピングすることにより, 個々の地物を分離することが可能である.

ここでは, 柱状物体について考え, 円柱部と平面部を安定して検出することを考える. 対象となる地物として, 電柱, 標識, 街灯などを考える.

従来手法 [1]では, 柱状物体の形状再構成において主柱部分を抽出する際, まず点群を水平面上に投影し, ヒストグラムを用いて点数の多い部分を主柱部分の範囲として決定していた. また, その領域に対して RANSAC 法による円弧抽出を行い, 円柱部分の検出を行っていた.

しかしながら, 我々の評価実験では, この手法では安定性に欠けるという問題点があった. その理由として以下のことが挙げられる.

- 直交する 2 軸でのヒストグラムでは, 矩形領域が取られるため, 円弧抽出では, 余分な点群が含まれる. 街灯のような細い円柱では, 投影点の密度が小さいため, 余分な点の影響を受けやすく, RANSAC 法による円弧抽出が不安定になる.
- ヒストグラムによる矩形領域検出には閾値が必要となるが, その設定は対象物の大きさに依存するので, 単一の閾値による計算では信頼性に欠ける.
- 標識などの平面部分の抽出がうまくいくかどうかは, RANSAC 法で用いる閾値に強く依存する.

また, これまでの手法では, 複数の地物が近接しているときに, 地物の分離に失敗し, 形状再構成が行えないという問題もあった.

こうした問題に対処するために, 本研究では, 円柱部分を安定して検出するために, ドロネ三角形分割を用いた新しい方法を導入する. また, 安定性を向上させるために, 検出で用いる閾値を適応的に変化させて計算を行う.

### 3. 形状要素の検出

#### 3.1 円柱の抽出

本研究では, 円柱を以下の手順で検出する.

1. 点群を  $Z$  軸に垂直な平面上に投影する (図 1 (a))
2. 投影面上でドロネ分割を行い, 距離が  $d_1$  以下のエッジのみを用いてワイヤフレームを作成する. ワイヤフレームは, 連結している成分ごとに分解する.
3. 連結な成分に関して, 投影面上で RANSAC 法を用いて, 円弧の検出を行う. 適切な半径の円弧が検出できたら, 円弧上にあると判定された点群に主成分分析を施す. 最大主成分方向が  $z$  軸に十分近ければ, 円弧が検出できたと看做す.
4. 円弧が検出できなければ, 閾値  $d_1$  の値を小さくして, 2 以下の処理を繰り返す.
5. 検出した点群の座標を元に戻し主成分分析を行い, 最大主成分方向を  $Z$  軸の代わりに用いて 1 以降を再計算し, 円柱を補正する.

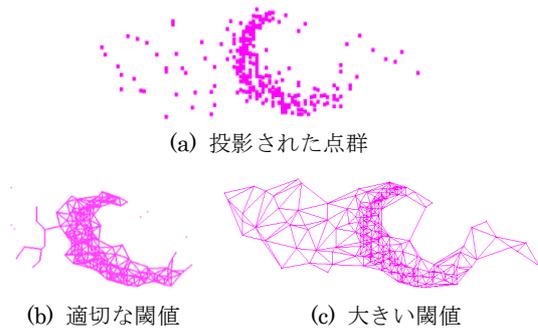


図 1 三角形分割による円柱の検出

図 1 より、本手法により、点群密度が大きい部分が検出できていることがわかる。ただし、閾値  $d_1$  が大きすぎると、図 1 (c) のように余分な点まで含まれ、円弧検出が不安定になる。そこで、 $d_1$  をやや大きめに設定しておき、 $d_1$  を徐々に小さくしながら、円弧検出を行う方法を用いた。

### 3.2 平面要素

平面要素の検出では、3次元の点群を kd ツリーを用いてワイヤフレームに変換した後、RANSAC 法を用いて平面検出を行う。RANSAC 法においては、ワイヤフレームの連結性を考慮し、連結成分の個数が最大となる領域を検出する。平面が検出されたら、その点を除外して、平面検出を繰り返す。

この際、点群がどのような平面集合に分割されるかは、RANSAC 法において、点が平面上かどうかを判定する距離の閾値  $d_2$  に依存する。 $d_2$  の値が小さいと十分な面積の平面領域が検出できず、大きいと別の部材まで含んでしまう。ここでは、閾値が大きくなって別の部材と併合したときに、点の存在範囲と平面の当てはめ残差が非連続的に急増することをを用いて、 $d_2$  を 1cm 程度の幅で変動させて平面部を抽出する。図 2 に検出した平面を示す。

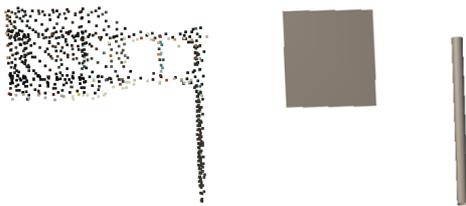


図 2 平面部と円柱部の抽出

### 3.3 街灯のスケルトン

円柱抽出を用いて、街灯の細い円柱も検出できる。一方で、街灯は多様な曲率を持った形状なので、ここでは街灯のスケルトンを作成して、形状を再構成する。街灯のスケルトンは、以下の手順で計算する。

1. 街灯の点群からワイヤフレームを作成する (図 3a)
2. ワイヤフレームの最小全域木を作成する (図 3b)
3. Z 座標の値が最小となる点から、すべての端点までの最小パスを計算する。最小パスの計算には、ダイクストラのアルゴリズムを用いる。最小パスの長さが最大となる

経路を採用する (図 3c)

4. 検出された経路を平滑化したものを、街灯のスケルトンとする (図 3d)
5. スケルトンに沿って、街灯のモデルを作る (図 3e)

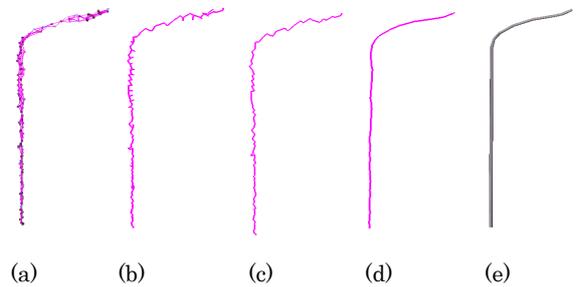


図 3 街灯の形状再構成

### 4. 複数の地物の混在

本手法で示した円柱抽出は、複数の地物が混在したデータにおいても有効である。そこで、検出した円柱に基づいて、点群を分割する。図 4 は、電柱と街灯が混在した点群を示している。この例では、図 4 中央のように 2 本の円柱が検出される。そこで、円柱と判断された点群以外の点に関して、近接した成分に分割し、それぞれに関して、2 本の円柱のどちらに近いかを判定する。図 5 は、街灯と木が混在する点群である。いずれの場合も、正しく点群が分割できている。

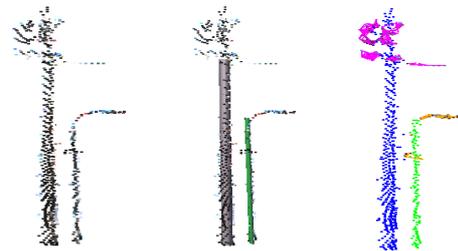


図 4 電柱と街灯が混在する点群

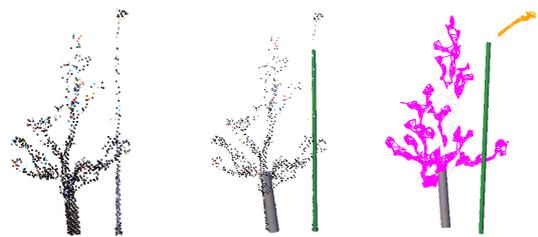


図 5 街灯と木が混在する点群

### 5. まとめ

本研究では、形状再構成を安定して行う手法を示した。今後、多くのデータで検証することで、さらなる頑健性の高い手法へと改善していく予定である。

### 参考文献

- [1] 池田邦彦, 小栗昇悟, 増田宏: 移動計測データのセグメンテーションと地物形状抽出 (第 2 報), 平成 24 年度精密工学会春季大会 2012