

# 移動計測データからのメッシュ生成とセグメンテーション[第2報]

電気通信大学 ○小平 圭祐, 深野 健太, 増田 宏

## Generating mesh model and segmentation from data of Mobile Mapping System (2nd report)

The University of Electro-Communications: Keisuke Kohira, Kenta Fukano, Hiroshi Masuda

A mobile mapping system is effective for capturing dense-point clouds of roads and roadside objects. However, it is time-consuming to segment each object from large-scale point-clouds using neighbor search, such as kd-tree and octree. In our previous work, we proposed a method for generating mesh models at high speed from high-density point-clouds. In this paper, we discuss a fast and stable segmentation method based on the mesh generation method. To segment objects from mesh models, we generate section lines between mesh models and planar surfaces. Then we generate groups of scan-lines and detect roadside objects including pole-like objects and walls. In addition, we propose a method for recovering reversed and overlapping triangles to improve our mesh generation method.

### 1. 緒言

日本の道路周辺に設置されたインフラ設備の老朽化が進んでおり、インフラ設備の保全や維持管理が求められている。そのため作業を効率化するための手段として、移動計測装置(MMS)の利用が有効である。MMSは、レーザスキャナ、GPSアンテナ、IMUを車両に搭載した計測器であり、走行しながら道路周辺の3次元情報を点群として取得できる。

MMSで取得した点群データは、道路と地物が一体化しているため、点群データに対してセグメンテーションを行い、各地物ごとに分離する必要がある。従来、セグメンテーションを行う際は、kd-treeやoctreeなどの近傍探索手法がよく用いられてきたが、近年では、毎秒100万点を取得するレーザスキャナも用いられており、点数が膨大になるにつれて近傍探索のための処理時間が長くなるという問題があった。近傍探索においては、点群を2次元平面に投影し、ドロネー3角形分割を用いる手法[1]も提案されているが、地物に近接する茂みなどの影響を低減するためには、スキャナや車速に応じてパラメータを調整する必要がある。そのため、高速でかつ安定なセグメンテーション手法が求められている。

前報では、MMSで取得された点群からメッシュモデルを高速で作成する手法を示し、それに基づいて点群のセグメンテーションを行う手法を示した[2]。しかし、この手法は2次元平面への投影を用いていたため、高速であるが、茂みなどがある場合の安定性に問題があった。そこで本報では、メッシュの切断線を用いた高速でかつ安定な点群のセグメンテーション手法を提案する。また、前報の提案では、点群をメッシュに変換する際に、面が裏返ることがあったが、その修正方法についても示す。

### 2. メッシュモデルの生成

#### 2.1. GPS時刻を用いたメッシュ生成

メッシュの生成には、前報と同様に、各点のGPS時刻とレーザスキャナの周波数 $f$ を用いる。メッシュ生成の手順を図1に示す。まず、スキャンラインに沿って点群を連結し(図1a)、次に、各点のGPS時刻から $1/f$ 秒後付近の点を $W$ 個検索する。ここでは、 $W$ を1周期にサンプリングされる点の個数の2%とした。それらから最近傍点を求めて、エッジで結ぶ(図1b)。最後に、三角形分割を行って、メッシュモデルを生成する(図1c)。本研究では、レーザスキャナとして、周波数が100HzのRIEGL VQ250を用いた。

#### 2.2. メッシュの修復

前述した手法でメッシュを生成した際、外れ値などの影響でメッシュが裏返る場合がある。この問題は、図2のように、スキャンラインが異常値のために、順方向に並ばない場合などに生じる。このようなスキャンラインに対してメッシュ化を施すと、図2(b)のように裏返った面が生成される。

ここでは、点に隣接する面の法線の内積が負になるときを異常値と見做し、局所的に平滑化を行う。平滑化には、Taubinフィルタを用いた[3]。図2(c)は平滑化されたメッシュを示している。円で示した点は、平滑化によって移動した点である。本手法では、平滑化を少数の点に対してのみ適用しているため、非常に高速な処理が可能となっている。

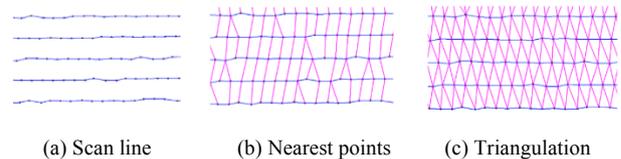


図1 メッシュの生成の手順

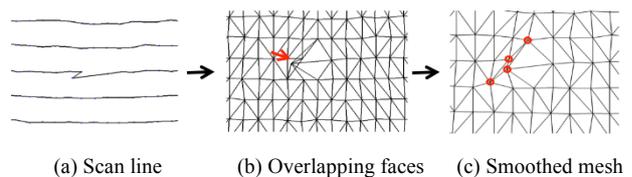


図2 メッシュの修復

### 3. メッシュモデルを用いたセグメンテーション

次に、メッシュモデルに変換された点群を用いて、セグメンテーションを行う手法について考える。

#### 3.1. 路面の抽出

路面は前報と同様に、各面の法線ベクトルと高さ位置から抽出する[2]。路面上の面は水平面に近くなるため法線ベクトルが鉛直方向に近い面を除去する。ただし、この手法だけでは車のボンネットなども抽出してしまうため、位置が低い面のみを除去する。

#### 3.2. 連結成分の抽出

路面を抽出・除去すると、メッシュモデルは地物ごとに孤立した状態で存在する。このモデルを、連結成分ごとに分割することで、地物ごとのモデルを生成する。

### 4. 地物の抽出

3章で生成したメッシュモデルの連結成分は、隣接した地物同士が一体化している場合がある。よって、ここでは各地物ごとにモデルを分割する。まず、各地物を囲む空間を生成する。次に、空間内の点群を抽出し、地物ごとに点群を切り分ける。本稿では柱状物体と壁面の空間を生成し、それぞれの点群を抽出する。

#### 4.1. メッシュの断面線の抽出と分類

各地物のメッシュモデルを一定間隔で水平方向に切断し(図 3a), メッシュの断面線を取得する(図 3b). 次に, 各断面線に対してエッジの長さの合計  $d$  を求め, これを断面線の長さとする(図 3c). また, 同図のように, 断面線に対して 2 次元の OBB をつくり,  $a$  を長辺の長さ,  $b$  を短辺の長さとする.  $a/b$  が閾値  $t_{p1}$  以下, かつ  $d$  が閾値  $t_{p2}$  以下の断面線を, 柱状の断面線として分類する. また,  $a$  または  $d$  が閾値  $t_w$  以上の断面線を壁面の断面線として分類する. 図 4 に分類した断面線を示す. 柱上の断面線を緑色, 壁面上の断面線を青色, その他の断面線を赤色に色分けした.

#### 4.2. 断面線を囲む空間の生成

分類した断面線を地物ごとに統合する. まず, 各断面線が持つ点を 2 次元平面に投影し, ドロネー 3 角形分割を用いて点同士を連結させる. この際, 長いエッジを持つ三角形を除外する. 次に, 投影した点を元の高さに戻し, 断面線の連結成分を生成する. ドロネー 3 角形分割により, 2 本の柱状物体が一体となった場合でも, 別の連結成分として分割できる(図 5).

#### 4.3. 空間内点群および付属物の抽出

ここでは, 生成した空間内に存在する点群を抽出する. まず, 連結成分に対して全体を包括する空間(3 次元の OBB)を生成する. ただし, 道路周辺の柱状物体と壁面の多くは地面に対して垂直に直立しているため, OBB の縦の一边は平面直角座標系の Z 軸方向とする. 次に, OBB の内部にある点を元の点群から抽出し, それらを柱上点群, 壁面上点群として抽出する.

その後, 柱上点群に関しては, 近くの点群を付属物としてグルーピングする. ただし, 柱上点群の中心点と水平距離が一定の範囲内に存在する点群をグルーピング対象とする. この処理により, 柱状部分と分離された付属物(道路標識等)をまとめる.

### 5. セグメンテーションの結果と評価

本手法の計算時間を表 1 に示す. 点数約 90 万点, 約 100m の移動計測点群に対して本手法を適用した. 前報で提案した手法に対して処理時間が大幅に短縮されており, 大規模な点群でも妥当な計算時間でセグメンテーションが行えるようになった.

次に, 2 つの地域から取得した約 500m の移動計測点群に対し, 柱状物体の抽出を行った. その結果を表 2 に示す. ただし, 次の 3 つの条件を満たす柱状物体を抽出対象とした.

- ・メッシュ生成に成功した柱状物体
- ・目視で柱状だと判断できるもの
- ・MMS が走行した道路の両脇に位置する柱状物体

表 2 から, 地域によらず抽出率は共に 95% を超え, 抽出精度が非常に高いことが分かる.

また, 同様の移動計測点群に対し, 壁面の抽出も行った. 結果を表 3 に示す. 抽出対象は, 次の 3 つの条件を満たす壁面とする.

- ・メッシュの生成に成功した壁面
- ・目視で壁面だと判断できるもの
- ・MMS が走行した道路に面する壁面

表 1 処理時間

メッシュ生成	路面の抽出	セグメンテーション	合計
0.1s	0.7s	0.9s	1.7s

表 2 柱状物体の抽出率

地域	成功	失敗	合計	誤抽出	抽出率
東京都江東区青海	76	1	77	0	99%
愛知県長久手市	132	11	143	0	96%

表 3 壁面の抽出率

地域	成功	失敗	合計	誤抽出	抽出率
東京都江東区青海	38	2	40	7	89%
愛知県長久手市	97	12	109	15	87%

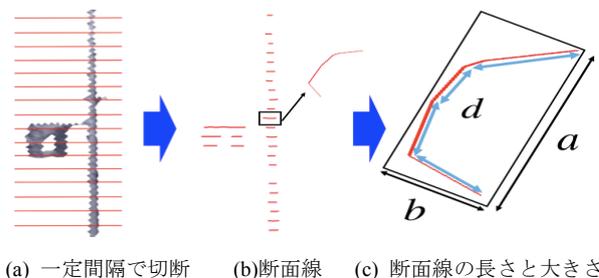


図 3 メッシュモデルの断面線を生成

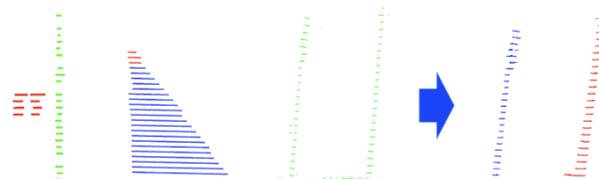


図 4 断面線の分類

図 5 断面線の分割

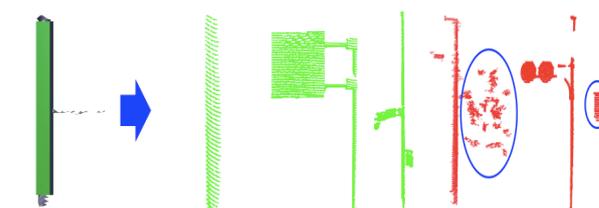


図 6 空間内の点群抽出

図 7 柱上点群と付属物のグルーピング

また, 異なるモデルに分かれた同一壁面を 1 つとして数え, 同一壁面の一部でも抽出できた場合, 抽出成功とした. 表 3 より, 柱状の抽出結果と比較すると, 壁面の抽出率は高くないことが分かる. これは, オクルージョンの影響でモデルが小さく分割されたこと, 車の側面を壁面として誤抽出したことが主な原因である.

なお, 柱状物体, 及び壁面の抽出は, 断面線の連結成分に対し空間を生成し, その空間内の点群を抽出できた場合, 抽出成功としている. 抽出成功例を図 6 に示す.

次に, 柱上点群と付属物のグルーピング結果を図 7 に示す. 成功例を緑色, 失敗例を赤色に色分けした. 柱状物体の周辺に地物が無い場合, 付属物のグルーピングに成功した. 一方で, 周辺に他の地物が位置した場合, 木のの一部や余計な付属物(図 7 中の丸)もグルーピングする場合があった. 付属物のグルーピングについては, さらなる検討が必要である.

### 6. まとめ

本報では, メッシュの断面線を利用することで, 高速でかつ安定なセグメンテーションが行えることを示した. また, メッシュの裏返りを修復する手法も示した.

しかし, 現在の手法では, 車側面の誤抽出や, 柱状物体に隣接した付属物の誤認識などの問題がある. 今後, 本手法をさらに検討し, セグメンテーション精度を高める予定である.

### 参考文献

- [1] H. Masuda, Shape reconstruction of poles and planes from vehicle-based laser scanning data, Proc. MMT2013 (2013)
- [2] 渡邊 健士, 深野 健太, 増田 宏: 移動計測データからのメッシュ生成とセグメンテーション, 精密工学会春季講演会 2015
- [3] G. Taubin, A signal processing approach to fair surface design, ACM SIGGRAPH 95 (1995) 351-358.