

# 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

電気通信大学 ○渡邊 健士, 深野 健太, 増田 宏

## Generating mesh model and segmentation from data of Mobile Mapping System

The University of Electro-Communications: Takeshi Watanabe, Kenta Fukano, Hiroshi Masuda

A mobile mapping system is useful for capturing dense point-clouds of roads and roadside objects. However, it is time-consuming to segment each objects in large-scale point-clouds. One reason of high computational cost is that neighbor search, such as kd-tree and octree, is not fast for huge point-clouds. In addition, point-clouds captured by a MMS have heterogeneous densities according to directions. For improving efficiency, we convert point-clouds into mesh models using our efficient mesh generation technique, and then segment point-clouds using the connectivity of mesh models.

### 1. 緒言

日本は道路などの社会インフラが発達しているが、それらの老朽化に伴い、保全のための整備が必要となっている。保全を行うためには現状を把握する必要があり、それには移動計測装置（以下 MMS）の活用が有効である。MMS は自動車にレーザスキャナなどの計測装置を搭載したシステムで、走行しながら道路周辺の情報を点群として取得することができる。

しかし、MMS で取得された点群データは道路と電柱などの地物が一体となっており、道路や各地物の状況を正確に判断することが難しい。そこで、点群に対してセグメンテーションを行ない、地物ごとの単位に分離することが重要となる。セグメンテーションでは、近傍の点群をグループ化することで地物を分割する。

その際、典型的な手法では kd tree や octree を用いて近傍探索を高速化している。しかしながら、レーザスキャナが高性能化し、点の個数が膨大になってくると、こうした近傍探索では計算時間が多くかかるようになる。さらに、後述するように、MMS の点群は方向によって疎密が著しく異なるので、パラメータ設定に十分注意を払う必要がある。

そこで本研究では、MMS データの特徴を用いてメッシュモデルを高速に作成し、そのメッシュモデルに基づいてセグメンテーションを行なうことを考える。本稿では、まず高速なメッシュ生成手法について示し、次に、路面、柱状物体のセグメンテーションを行なう。

### 2. GPS 時刻を用いたメッシュモデルの生成

高性能のレーザスキャナを搭載した MMS では、図 1 のようにレーザ光を連続的に照射しながら点群を取得する。また、各点には取得された時刻を示す GPS 時間が保持されている。MMS によって得られた点群では、図 2 に示すように、スキャンラインに沿って非常に密な点群が得られる一方、スキャンラインの間隔は相対的に非常に大きくなる。そのため、有効な kd tree の生成が困難となり、スキャンラインを跨ぐ近傍探索は容易ではない。

そこで、本研究では、GPS 時刻を用いて、異なるスキャンラインに跨がる点を連結することを考える。図 2 は、RIEGL VQ250 を用いて取得した点群である。このレーザスキャナの周波数は 100 Hz なので、回転周期は  $T = 1/100 \text{ sec}$  となる。この図は、この周期毎に点を追跡したもので、周期  $T$  秒後の点は、隣接するスキャンラインの最近傍点の近くにあることがわかる。そこで、 $T$  秒後の点から、前後  $w$  個（ここでは  $w=5$  とした）の点を調べ、その中から最も近い点を選択することで、近傍点を取得する。そして、その近傍点を用いて、点群をメッシュに変換する。

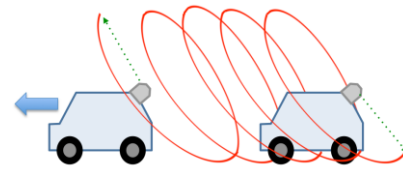


図 1 レーザスキャナによる点群の取得

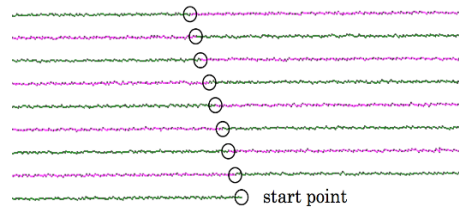


図 2 回転周期後の計測点の位置

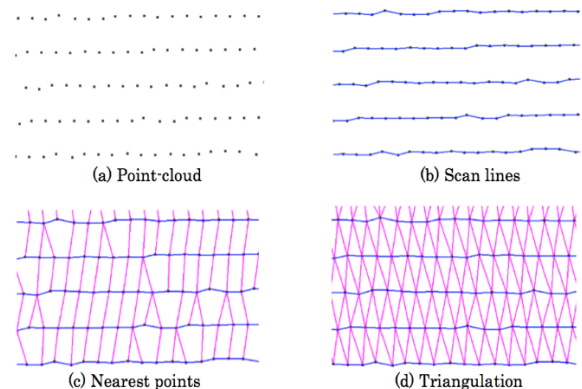


図 3 メッシュ生成の手順



図 4 生成されたメッシュ

図3にメッシュ生成の手順を示す。まず、点群をスキャンラインに沿って連結する。次に、隣のスキャンラインから最近傍点を検出し、エッジを生成して多角形を生成する(図3(c))。最後に、多角形を三角形分割することによってメッシュモデルを生成する。

図4は生成されたメッシュモデルの例である。点は270万点、三角形の個数は500万個で、計算時間は5秒であった。ただし、すべての点を用いてメッシュ生成を行なうと、図5(左)のように、長細い三角形が多数生成されるので、必要に応じて、スキャンライン間隔に応じて、点を間引く。図5(右)は、スキャンライン間隔にほぼ等しくなるように点を間引いた例である。この例では、三角形の個数が少なくなるため、計算時間は0.24秒となり、約20倍高速化された。ただし、間引きによってメッシュの細部は失われるため、高速化とメッシュ品質はトレードオフになる。

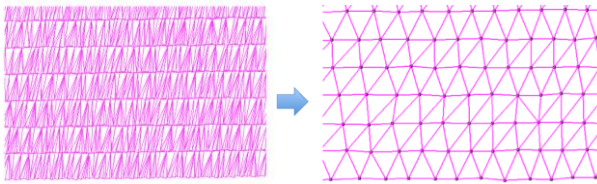


図5 点の間引きによる高速化

### 3. メッシュモデルを用いたセグメンテーション

次に生成されたメッシュモデルを用いて、地物を抽出する。メッシュモデルでは、近傍の点はエッジで連結されているので、近傍探索は非常に高速である。

#### 3.1. 路面の抽出

路面は、水平に近く、一定の幅で大きな面積を持つ面として抽出できる。そこで、メッシュから水平に近い面を抽出し、その面からの距離が近い点を得ることで路面を抽出する。

水平に近い面の抽出は、メッシュの法線ベクトルを用いて行う。点Pの法線ベクトルは、その点を含む三角形の法線を面積の重みで平均することで計算する。ただし、路面には凹凸が多く存在し、路面を構成する点であっても水平でない法線になることがある。そうした点を路面として抽出するために、二つの処理を行う。一つは、近傍点の法線を平均することで、法線ベクトルを平滑化する処理である。この平滑化をn回繰り返せば、点Pの(n-1)近傍による法線ベクトルが算出できる。もう一つは、近傍点が路面上の点のときにその点も路面と看做す処理で、異常値に対処する。

路面は、平面からの距離が閾値内の点群として抽出される。閾値を求めるために、路面の法線方向に、ある幅ごとに点の個数を数える。最も多い区間を基準値とし、その前後の区間で十分な個数が存在する連続な領域を路面として抽出する。

#### 3.2. 地物の抽出

道路周辺環境には地物が多く存在する。そのため、本手法では以下のような手順によって、それらを分離する。

まず、路面を抽出・除去したメッシュモデルは地物ごとに切り離された状態で存在する。このメッシュモデルに対し、連結成分を抽出し、地物のモデルとして別々に保存する。

次に、前工程で得た地物のモデルを、水平面に投影し、重なっているモデルを同一の地物としてグルーピングする。これは、柱状物体や壁、ガードレールなどの地物は地面から垂直に設置されている一方、計測データにおいては、オクルージョンによって上下に分離してしまうことも少なくないためである。

#### 3.3. 柱状物体の抽出

まず、高さごとに地物のモデルの断面の大きさを算出し、柱状

のモデルを抽出する<sup>[2]</sup>。次に、柱状のモデルとの水平距離が、一定の大きさである地物のモデルをグルーピングする。これは、地物によっては柱状部分と看板や信号機が分離しているためである。

## 4. 結果と処理時間の評価

本手法を図6に示した点群データに対して用いたところ、図7のように地物ごとに妥当なセグメンテーションができた。

次に、処理時間について示す。図6の道路に対して本手法を用いたところ、表1のような処理時間となった。約50万点の点群に対して、地物のセグメンテーションの時間が約3秒であり、既存のkd treeを用いた手法などと比べ、極めて短時間で処理することができている。

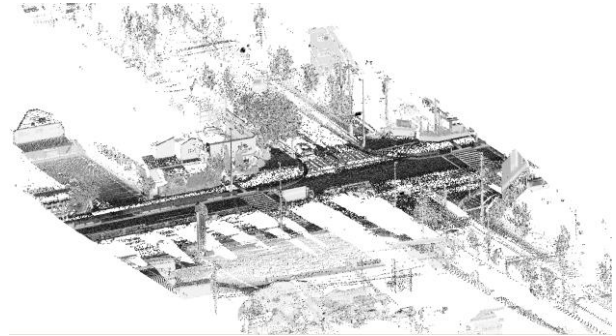


図6 点群データ



図7 セグメンテーション

表1 処理時間

点数	処理時間			合計
	メッシュ生成	路面抽出	セグメンテーション	
448918	0.4 sec	0.3 sec	2.5 sec	3.2 sec

## 5. まとめ

本稿では、路面と柱状物体をメッシュモデルとしてセグメンテーションする手法を提案した。GPS時刻を用いてメッシュモデルを生成し、セグメンテーションを行うことで、従来の手法より短い時間で処理できることを示した。

ただし、今回のセグメンテーションでは、複数の地物が近接して分離できないケースについては扱わなかった。今後は路面抽出や柱状物体の抽出における精度の向上とその定量的な評価について検討していく予定である。

### 参考文献

- [1] J. He, H. Masuda: An Efficient Surface Generation Method for Vehicle-Based Mobile Mapping System, ICCBEI 2014.
- [2] H. Masuda, S. Oguri, J. He, Shape Reconstruction of Poles and Plates from Vehicle-Based Laser Scanning Data, MMT 2013.