

(37) 車載型移動計測装置による点群データからの 道路周辺地物の形状再構成手法

3D Shape Reconstruction of Features on Roads using Mobile Mapping Data

小栗昇悟¹・増田宏²

Shogo Oguri, and Hiroshi Masuda

抄録：近年、レーザスキャナと CCD カメラ、GPS、慣性計測装置をシステム化し自動車に搭載した GPS 移動計測装置により、道路周辺の地物の点群データを取得することは容易となった。しかし、移動計測により得られたデータからの形状再構成については、データの低密度・低精度が障壁となり既存の形状再構成手法がそのまま使えない。本研究では、移動計測データの特徴や道路周辺の地物の特徴を知識として用い、また 3 次元点群の 2 次元平面上への投影や、2 次元形状からのスweepなどを使うことによる自動的な道路周辺地物の形状再構成を行う手法を開発した。

キーワード：移動計測、点群、点群処理、形状再構成、地物

Keywords : mobile mapping, point-cloud, point processing, shape reconstruction, feature

1. はじめに

近年、現実世界を点群の形で計測するレーザスキャナと、GPS システム、慣性計測装置、CCD カメラをシステム化し自動車に搭載した GPS 移動計測装置 (Mobile Mapping System, 以下、MMS) (図-1) が開発され、実際のデータ取得に用いられている。道路周辺の標識や電柱やガードレール等の地物については、MMS の走行しながらの計測により短時間で広範囲のデータを得られるようになった。移動計測によって得られたデータから形状の再構成を行い、3 次元モデルを作成することができれば、道路周辺のインフラの現状把握や修繕計画策定などの管理やその他様々な分野への応用が考えられる。

MMS の移動計測によって得られたデータは大規模であるため、移動計測データからの 3 次元モデル作成手法には自動化が求められる。しかし移動計測によって得られたデータは低密度・低精度であり、点群への曲面当てはめでは、十分な精度での計算が難しい。

そこで本研究では、道路周辺の地物ごとの特徴を知識として用いることにより、移動計測データから自動的に道路周辺地物の形状再構成を行う手法を考える。

移動計測による形状再構成では、先行研究として、路面抽出¹⁾、縁石抽出²⁾、柱状物体抽出^{3,4)}などが行われている。しかし、道路周辺の地物には、街灯や標識、ガードレールなど、垂直な円柱だけでは構成できない地物も多い。そこで、本研究では、そうした地物

に適した形状再構成手法を提案する。

2. 手法の概要

形状再構成への手順は、以下のような流れである。

- ① 点群データの地物ごとの分割
- ② 地物の種類に応じた点群からの形状再構成

移動計測で得られた点群データから地物の形状の再構成を行うにあたり、まず点群を個々の地物に分割することが必要となる。点群データでは、路面を介して各地物が一繋がりとなっているので、まずは路面と路面以外を分ける必要がある。これについては、路面が走行線に対する左右方向では水平に近いということを利用して路面だけを抽出することができる(図-2)。

路面が除去された点群データにおいては、各地物が離散的に存在した状態となる。そのため地物一つ一つへの分割は、kd-tree での近傍点探索を用いたセグメンテーションで可能となる(図-3)。

点群データから 3 次元モデルを作成する手法については、コンピュータグラフィックスや CAD の分野で盛んに研究されてきた。しかしながら、移動計測で得られた点群においては、走行しながらの計測であるために、点群密度が低く、またノイズが大きいという問題がある。建物のような大規模な平面の再構成は可能であるが⁵⁾、道路周辺の小さい地物形状の場合には、形状再構成のために十分な品質の点群が得られない。

そこで本研究では地物の特徴を知識として用いるこ

1 : 非会員 東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻

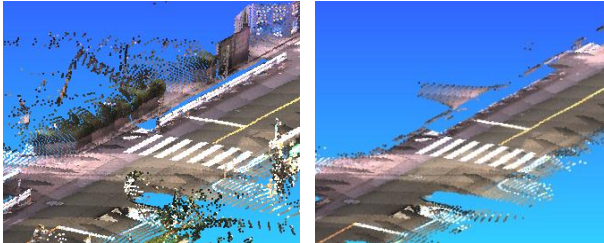
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, Tel :03-5841-6513, E-mail : oguri@nakl.t.u-tokyo.ac.jp)

2 : 非会員 工博 東京大学大学院 准教授 工学系研究科 システム創成学専攻

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, Tel :03-5841-6511, E-mail : masuda@sys.t.u-tokyo.ac.jp)



図－１ GPS 移動計測装置(左)と点群データ(右)⁶⁾



図－２ 元データ(左)と路面抽出データ(右)



図－３ kd-tree によるセグメンテーション

とによって道路周辺の地物の 3 次元形状を自動的に再構成する手法を考える。

本研究では道路周辺の地物の中から表－１に示すものを対象とした形状再構成手法を示す。

３．円柱の柱をもつ地物の形状再構成

道路周辺に存在する地物の中で、電柱や標識、街灯、信号機など多くのものが鉛直方向に伸びた柱状物をもつ構造物である。ここでは鉛直方向の円柱のモデリングを考える。

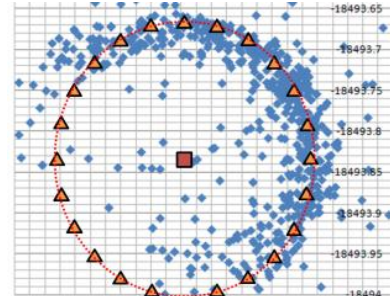
まず、円柱の断面の円の中心位置及び半径を求める。鉛直方向に z 軸をとり、 z 軸に垂直な xy 平面を考え、3次元の点群データを xy 平面に投影する。投影することにより、点の密度を高くすることができる。

円のパラメータの算出には、ノイズや異常値に強い RANSAC 法を用いる(図－４)。ただし RANSAC 法は点の数が多いと計算時間が大きくなる。そのため xy 平面上において点の個数のヒストグラムをとり、点の密度が高い部分のみを使用する。

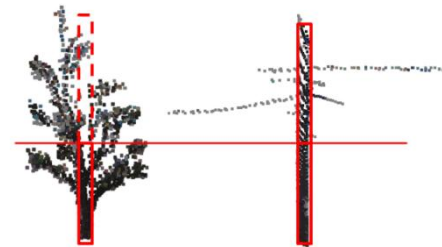
xy 平面上に円を描いたら、 z 軸方向にスイープし、3次元形状を作成する。スイープする範囲は、求めた円に乗っていると判定した点群の z 座標の値の範囲

表－１ 本研究の対象の道路周辺地物

道路上の 地物	柱状物体を持つ 人工物	電柱
		標識
	道路に沿った 人工物	街灯
		ガードレール



図－４ 投影に対する RANSAC 法を用いた円の抽出



図－５ 樹木(左)と電柱(右)

である。

円柱の柱をもつ地物と似た地物に、樹木がある。樹木は、下部は幹のみであるが、上部は枝により拡がりを持っている。そのため円柱を作成した時の円柱に乗っている点の数から樹木を除外することができる(図－５)。

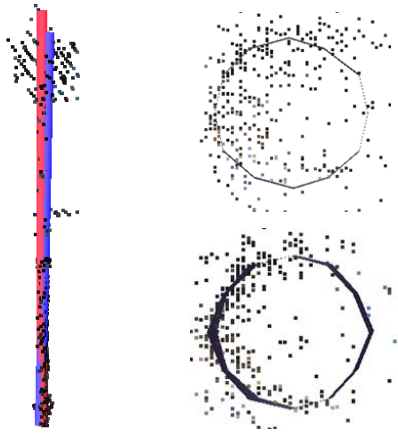
以下の節では、電柱・標識・街灯にそれぞれ特化した形状再構成手法について述べる。

(１) 電柱の形状再構成手法

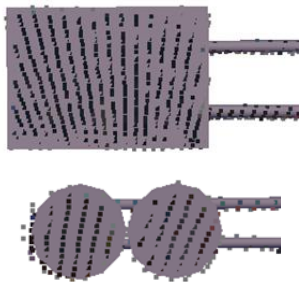
電柱のような柱状物体は、必ずしも鉛直方向に立っているとは限らない。そこで、軸が傾いていることを考慮した柱の形状再構成手法を考える。そのプロセスは以下のものである。

- ① 鉛直方向の円柱を作り、円柱上の点の抽出する。
- ② 円柱上の点について主成分分析をかけ、第 1 主成分方向を円柱の軸方向とする。
- ③ 軸に垂直な 2 次元平面上に全ての点を投影し、RANSAC 法で円を推定し円柱を作る。
- ④ ②と③を繰り返す。

電柱の点群データから上記の手法によりモデリングを行った結果を図－６に示す。図－６右側の断面図は、



図－6 電柱モデル(左, 青:鉛直, 赤:傾き補正後)と断面図(右上:鉛直, 右下:傾き補正後)



図－7 標識の形状再構成結果

各柱の軸方向に投影した図であり、傾き補正後の右下の方が円上に多くの点に乗っていることがわかる。

(2) 標識の形状再構成手法

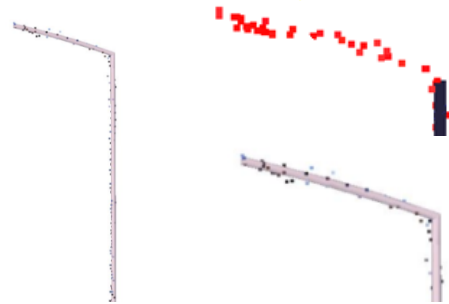
標識部分の復元について、まず点群データから円柱部分を除去し、平面に投影する。標識部分が直線状に現れるので、RANSAC 法によりこの直線を求める。求めた直線を含み、かつ xy 平面に垂直な平面を考えると、標識の形状についてはその平面上の問題となる。標識は長方形か円形か正三角形かのいずれかと形状が限られているので、円形や四角形の標識の形のテンプレートを予め用意しておき、点群データからパラメータを算出する。

鉛直な円柱と標識とを結ぶ梁については、点群データから円柱部分と標識部分を除去したデータにおいて、標識の直線方向に垂直な平面に点群を投影し、RANSAC 法を適用することで、形状を復元できる。

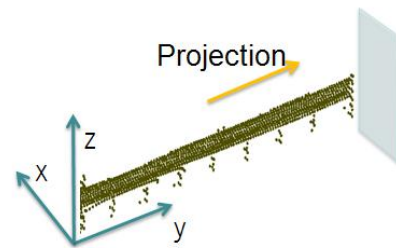
以上の手法を用いて、標識の形状を復元したものを図－7 に示す。

(3) 街灯の形状再構成手法

鉛直方向に伸びた円柱の上部において、片方にライ



図－8 街灯の形状再構成



図－9 ガードレールの投影

トが突出しているタイプの街灯の形状再構成を考える。ライトが突出する方向を主成分分析で求め x 軸とし、突出部分については x の二次関数で近似を行う。街灯の形状再構成例を図－8 に示す。

4. ガードレールのビームの形状再構成手法

MMS の移動計測によって得られる点群は密度が小さいため、そのままでは正確な形状を把握することは難しい。しかしガードレールのビームの部分は、断面形状を直線上にスイープしたものである。そのため、ガードレールのビーム部分の形状再構成は、以下の手順で行う。

- ① ガードレールの点群を、ビームの方向に垂直な平面に投影し、点群の密度を上げる(図－9)。
- ② 平面上において、ビームの断面形状の算出と、ビームの位置の算出を行う。
- ③ 求めたビーム断面をスイープする、という手順で行うことができる。

ガードレールの点群の投影にあたり、まずビーム方向を求めなければならない。これは、 xy 平面における RANSAC 法を用いた直線検出を用いる。RANSAC 法を用いることでノイズに対する頑健性が高いものとなる。

ガードレールの断面形状は規格で定められているため、テンプレートによるフィッティングを考える。本研究では一般的なガードレールタイプのものと、パイプ2本で構成されたガードパイプのテンプレートを用意した(図－10)。

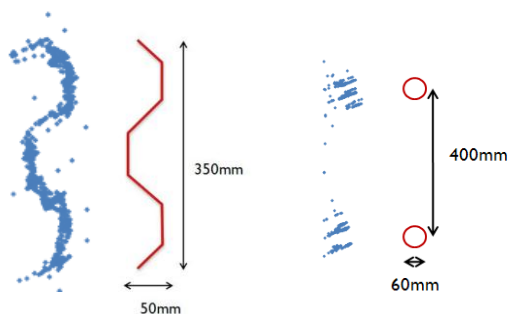


図-10 ガードレール断面のテンプレート

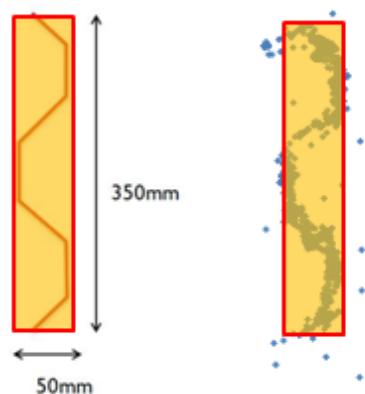


図-11 矩形を用いたテンプレートの位置特定

投影平面上におけるテンプレートの種類の判別及びテンプレートをフィットさせる位置特定には、 x 軸方向及び z 軸方向での点の個数のヒストグラムを用いた。適用するテンプレートの判別には、 z 軸方向のヒストグラムのピーク間隔を用いた。図-10左のガードレールは2つの山の間隔の 150~200mm がピーク間隔として現れるのに対し、右のガードパイプはパイプ間隔の 400mm がピークの間隔となる。ビーム部分の位置推定には、テンプレートを内包するような矩形を考え、投影平面上で矩形に入る点の数が最大になるように矩形の位置を定めることにより、ビーム部分の位置を決定する（図-11）。

ビームのスweepについては、投影平面上で上記の矩形内に入っている点をビーム部分の点とし、それらの点の y 座標の範囲を調べる。その範囲をビームの存在範囲とし、テンプレート形状のスweepを行う。

図-12はガードレールのビーム部分の形状再構成を行った結果である。また図-13はガードパイプの形状再構成を行った結果である。

5. まとめ

本研究では道路周辺地物の中の電柱・標識・街灯・ガードレールについて形状再構成の手法を示した。今後は、より多くの種類の地物の形状再構成手法の開発を進めていきたい。また今回対象とした地物について

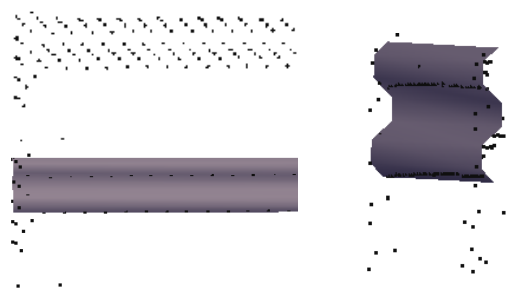


図-12 ガードレールのビーム部分の形状復元

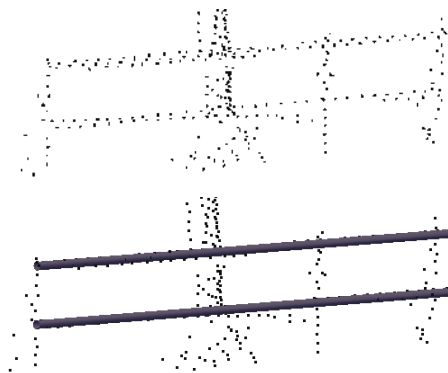


図-13 ガードパイプのビーム部分の形状復元

も、精度を上げるとともにテンプレートの拡充や任意のテンプレートを追加できるシステムの開発を行うことで、より一般的に用いることのできる形状再構成手法の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) Mc Elhinney, C. P., Kumar P., Cahalane, C. and McCarthy, T.: Initial results from European road safety inspection mobile mapping project, ISPRS Commission V Technical Symposium, pp. 440-445, 2010.
- 2) El-Halawany, S., Moussa, A., Lichti, D. D. and El-Sheimy, N.: Detection of road curb from mobile terrestrial laser scanner point cloud, ISPRS Workshop Laser scanning, 2011.
- 3) Lehtomäki M., Jaakkola A., Hyyppä J., Kukko A. and Kaartinen, H.: Detection of vertical pole-like objects in a road environment using vehicle-based laser scanning data, Remote Sensing Vol.2, No. 3, pp.641-664, 2010.
- 4) El-Halawany, S.I. and Lichti, D.D.: Detection of road poles from mobile terrestrial laser scanner point cloud, 2011 International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping, pp.1-6, 2011.
- 5) Zheng, Q., Sharf, A., Wan, G., Li, Y., Mitra, M.J., Cohen-Or, D. and Chen, B.: Non-local scan consolidation for 3D urban scenes, ACM Trans. Graph. 29, Article 94, 2010.
- 6) 三菱電機：三菱モービルマッピングシステム，<<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/index.html>>，（入手 2012. 7. 12）。