

# 移動計測データを用いた道路周辺地物の形状再構成（第3報）

東京大学 ○小栗昇悟, 電気通信大学 増田宏

## Shape Reconstruction from Mobile Mapping Data (3rd report)

The University of Tokyo: Shogo Oguri, The University of Electro-Communications: Hiroshi Masuda

In this research, we consider methods for reconstructing shapes of roadside objects from point-clouds captured by a MMS. In order to increase feature types that can be reconstructed, we consider a method to reconstruct the shapes of cable-like objects. In our previous report, we constructed wireframe models by using GPS time and extracted cable-like objects. In this report, we propose a method to merge fragments of cables, and then a method to extract multiple curves from a wireframe using the RANSAC method.

### 1. はじめに

近年、レーザスキャナによる3次元計測技術が発展を遂げている。さらに、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、道路周辺の物体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。レーザスキャナの性能向上により、1秒あたり数十万~100万点の計測が可能となっている。移動計測によって得られる点が高密度なものとなるにつれて、計測できる対象も広がりつつある。

本研究では、特に線状物体の3次元データの取得と処理について考える。

前報である第2報[1]では移動計測による線状物体の3次元計測、および点群データからの線状物体の点群の抽出について述べた。

本報では、懸垂曲線のあてはめによる線状物体の形状再構成について述べる。また第1報においては引き込み線を含むワイヤフレームモデルの要素を線状物体として抽出できないという問題点があった。本報では RANSAC 法による解決策について述べる。

### 2. 曲線あてはめによる線状物体の形状再構成

電線のような細い線状物体は、レーザスキャナのスピンドル1回転あたりのサンプリング数が小さいと安定してデータを取得することができない。一方で、1回転あたりのサンプリング数を増やすと、スキャンライン上の点間隔とスキャンライン間隔 (図1) が大きく異なってくるため、k-近傍グラフによるセグメンテーションは適切に機能しない。前報ではそのようなデータに対応したセグメンテーション手法として、点取得時の GPS 時刻を用いたワイヤフレームモデルの作成による手法を示した (図2)。

そのように生成されたワイヤフレームモデルから線状物体のデータを抽出することができる。前報では主成分分析を用いて線状かどうかの判定を行い、曲線あてはめを行うことで、電線の形状を再構成した。しかしながら、電線が分岐するような場合には、この手法は適用出来なかった。また、電線が複数の非連結なワイヤフレームとして得られた場合、断片的に得られた電線を連結することが必要である。

本稿では、線状物体のワイヤフレームモデルが、電線の分岐や断片化などを含む場合に置いても、線状物体の形状を再構成できる手法を考える。

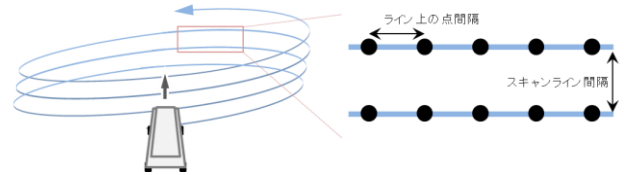


図1 レーザスキャナのスキャンライン

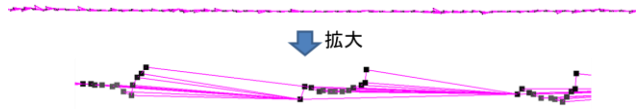


図2 GPS時刻を用いた線状物体のワイヤフレームモデル

電線のような線状物体は、重力に従い垂れた、懸垂曲線として表すことができる。まず、その手法について示しておく。

線状物体として抽出された要素から懸垂曲線を求めるにあたり、まず曲線の存在する平面  $P$  を求める。ここでは重心と第1・第2主成分ベクトルを用いて  $P$  を求める。次に要素に含まれる点群を平面  $P$  に投影する。平面  $P$  上での座標軸について、水平方向を  $x$ 、鉛直方向を  $z$  とすると、求めたい懸垂曲線の式は以下ようになる。

$$z = \frac{1}{2a} \{ e^{a(x-x_0)} + e^{-a(x-x_0)} \} + z_0 \quad (1)$$

ただし、 $a$  は線状物体の質量等の性質によるパラメータであり、 $x_0, z_0$  は水平移動を示すパラメータである。これら3つのパラメータを求めれば、懸垂曲線の形状を再構成できることになる。本研究では、要素内の各点と曲線の鉛直方向の距離を用いた最小二乗法によって曲線を求める。その際非線形最適化の手法として Levenberg-Marquardt 法を用いた。

ワイヤフレームモデルの要素に対して懸垂曲線をあてはめた結果の例を図3に示す。

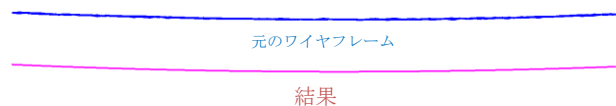


図3 ワイヤフレームモデルへの曲線あてはめ

### 3. 線状物体の連結

線状物体のワイヤフレームモデル要素を抽出した際、1本の線状物体が、複数の分割された要素として抽出されることが頻繁に発生する。1本の線状物体を1本のものとして抽出するために、ここでは線状物体の連結について述べる。

本研究では分割された2要素が同一の線状物体に含まれるものか判定するために、各要素の以下の情報を用いた。

- ① 重心の  $z$  座標
- ② 第1主成分の  $x, y$  成分
- ③ 2要素を  $xy$ 平面上に投影し、一方の第1主成分の直線を  $l$ 、他方の重心を  $c$  とした時の、 $l, c$  の距離
- ④ 2要素を結合したモデルに対して懸垂曲線をあてはめたとき、2要素の点の中で曲線の近傍上に存在する点の割合

以上の情報を用いて、分割された要素が同一の線状物体かどうかを判定し、複数の線状物体を連結して曲線形状を再構成したものを図4に示す。図4の上段左が元の分割された要素であり、それらを連結して曲線を再構成したものが上段右である。下段は、形状抽出結果の曲線のみを描画したものである。

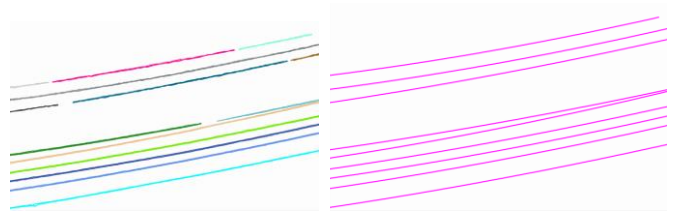


図4 線状物体の連結と形状再構成

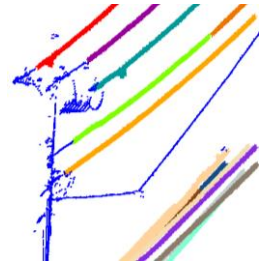


図5 引き込み線による電線の折れ曲がり

### 4. 引き込み線を持つ線状物体の抽出

前報で述べた、GPS時刻を用いたワイヤフレームモデル生成とそれによる線状物体抽出手法においては、引き込み線や分岐を持った線状物体の抽出は対応できない。線状物体のワイヤフレームモデルの抽出に主成分分析(第1, 第2主成分の比, 第1主成分ベクトルと水平面との角度)を用いる場合、引き込み線を持つ線状物体は、途中での折れ曲がりのため平面的な広がりを持つことになり、主成分分析の結果は、線状物体の特徴を持たなくなる。

図5では引き込み線の存在による電線の折れ曲がりを示している。このような折れ曲がりによる問題を解決するため、複数の曲線から構成されるワイヤフレームを分割することを考える。電線は自重により重力方向にたわむと考えられる。従って、懸垂線を水平面上に投影すると、図6に示すように、ほぼ直線になることが期待できる。そこで、本研究では、ワイヤフレームを水平面上に投影して直線検出を行い、ワイヤフレームを分割する。直線検出にはRANSAC法を用いた。具体的な処理は、以下に示す通りである。

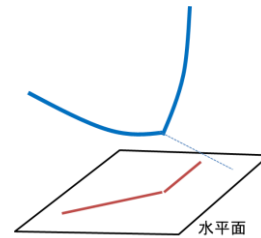


図6 複数の懸垂線の水平面上への投影

- ① ワイヤフレームに対して、主成分分析を用いて線状物体かどうかの判定を行う。また、電線は十分に高い位置にあるため、 $Z$ 値を調べて電線候補を抽出する。
- ② 主成分分析では線状物体と判断されなかった場合、ワイヤフレームを水平面に投影する。
- ③ 水平面上でRANSAC法による直線検出を行う。直線は、ワイヤフレームの最大連結成分として取り出す。
- ④ 直線が検出された場合、直線近傍の点群を取り出し、①の判定を行う。
- ⑤ 複数の直線が検出された場合は④を繰り返す。

RANSAC法を用いた線状物体抽出結果を図7に示す。図7左は、RANSAC法により線状物体要素を抽出したものである。図7右は、懸垂曲線をあてはめたものである。

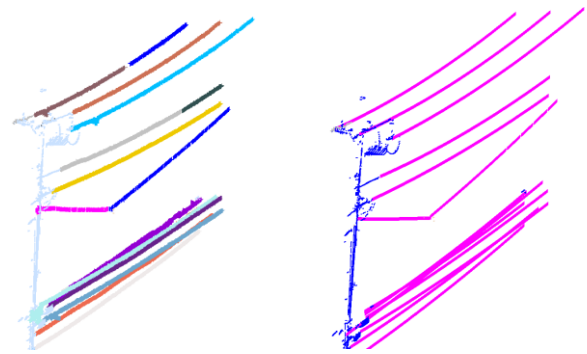


図7 RANSAC法による線状物体検出

本報においては引き込み線等により折れ曲がった線状物体に対する手段として、水平面への投影後、直線検出を行う手法を示した。

ただし、我々の用いた例題では、この手法により分離が行えたが、引き込み線が真上もしくは真下から引張っている場合など、水平面に投影しても2つの線分に分かれられないようなケースも想定される。今後、3次元空間においてRANSAC法により懸垂曲線を直接あてはめる手法や、領域成長の手法を応用した懸垂曲線抽出手法など、新たな手法を開発し、より多くの状況に対応する手法を考える予定である。

### 5. まとめ

本報では線状物体への曲線あてはめ、要素の連結、RANSAC法を用いた線状物体抽出について述べた。

- [1] 小栗昇悟, 増田宏: 移動計測データを用いた道路周辺地物の形状再構成(第2報), 平成25年度精密工学会秋季大会講演論文集