

# 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）

東京大学 ○小栗昇悟, 電気通信大学 増田宏

## Shape Reconstruction from Mobile Mapping Data (2nd report)

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

In processing point-cloud data acquired by a mobile mapping system, kd-trees are often applied to create k-neighbor nearest graphs. On the other hand, point-cloud data have typically different point-density between the driving direction and the scan line direction. In this paper, we consider a method to build an appropriate structure from point cloud data whose density is much different depending on directions.

### 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. 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. さらに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実現されている. 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, 線状物体の3次元データの取得と処理について考える. ここでは, 線状物体をワイヤのような細い物体であると定義する. 線状物体は, レーザ光が当たる面積が小さいため, サンプル間隔が小さくないと安定してデータを取得することができない. 本研究では, 性質の異なる複数のレーザスキャナからの点群データを用いて, 線状物体の形状再構成のための手法を考察する.

### 2. 点群データの特徴

移動計測においてレーザスキャナの点群密度は, スピンドルの回転速度と, 1回転あたりのサンプリング数の2つで特徴付けられる. 回転速度が大きいほどスキャンラインの幅が小さくなり, またサンプリング数の大きいほどスキャンライン上の点間隔は小さくなる.

今回は, 複数のレーザスキャナを用いて点群を取得した. 用いたスキャナは, Leica Geosystems HDS7000, RIEGL VQ-250, Z+F PROFILER9012 の3機種である. いずれも360度の範囲で連続的に点群を計測する(図1). なお, Z+F PROFILER9012 は, 回転速度とサンプリング速度を調整で

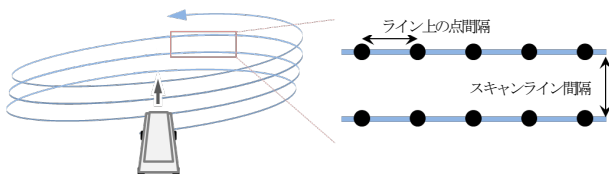


図1 レーザスキャナのスキャンライン

表1 用いたレーザスキャナの諸元

回転速度 [Hz]	サンプリング数 [点/回転]	測定レート [点/秒]	機種
50	20,480	1,016,000	HDS7000
100	3,000	300,000	VQ-250
200	5,120	1,016,000	PROFILER9012

表2 各スキャナにおける点の間隔

回転速度 [Hz]	サンプリング数 [点/回転]	スキャンライン間隔 [cm] <sup>※1</sup>	ライン上の点間隔 [cm] <sup>※2</sup>
50	20,480	22.2	0.3
100	3,000	11.1	2.1
200	5,120	5.6	1.2

※1 計測装置が時速40kmで走行した場合の値.

※2 計測装置から10mの距離における値.

きるが, 今回用いたデータは200Hzの場合のみである.

各レーザスキャナの諸元を表1に示す. 表1の値に基づいて, 計測点の間隔を計算すると表2の結果となる. ただしスキャンライン間隔は自動車の速さに比例し, またライン上の点間隔はレーザスキャナからの距離に比例するので, それぞれ40km/h, 10mの基準値を用いた.

測定レートが共に毎秒約100万点であっても, 回転速度が50Hzと200Hzでは, 方向ごとの点密度に大きな違いが存在する. ここでは, 線状物体の直径として約1cm~4cmのものを想定する. 表2の値と比べてとき, 50Hz, 20480点/回転においては10m離れた位置に存在する直径1cmの線状物体について1スキャンラインあたり約3点の取得が期待できる. それに対して, 100Hz, 3000点/回転や200Hz, 5120点/回転では, 10m離れた直径1cmの線状物体については, スキャンラインごとに点が取得できる保証がないことがわかる. 図2の例はやや太めの線状物体上の点を示しているが, 50Hz, 20480点/回転のデータ以外は, 飛び飛びにしか点が得られて

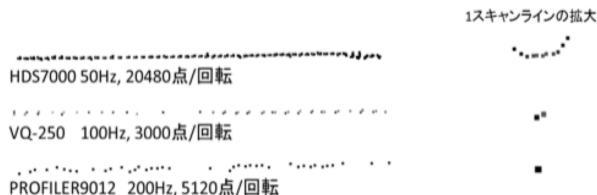


図 2 各レーザスキャナで取得した点群

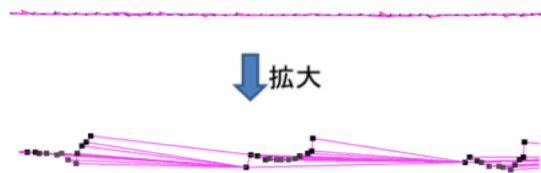


図 4 GPS 時刻を用いたワイヤフレーム生成

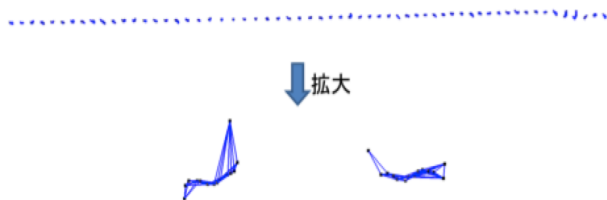


図 3 線状物体の k-近傍グラフ (k=8)

いない。また、直径が 1cm 程度の線状物体が地面に対して平行に伸びているとき、100Hz、3000 点/回転や 200Hz、5120 点/回転の場合、最悪の場合、当該の点の多くが欠落する可能性が存在する。このことは、線状物体の存在の判定の信頼性を損なうものとなる。そのため、本研究では 50Hz、20480 点/回転の点群に対する線状物体抽出を行うことを考える。

しかしながら、このような点群からワイヤフレームモデルを作成するとき、点群処理でよく用いられる k-近傍グラフが有効に機能しないという問題がある。k-近傍グラフは、点群データから kd-tree をつくり、近傍点探索を行うことで作成できる。しかしながら、車両の進行方向とスキャン方向とで、点間隔に極端に差がある場合（表 2 のケースでは約 74 倍）、図 3 に示すように、k-近傍点探索では、通常は 8~16 の値が用いられる k の値を 150 程度に設定しないと同一スキャンライン上の点のみが選ばれ、スキャンラインを超えたワイヤは生成されないという結果となる。

### 3. GPS 時刻を用いたワイヤフレーム生成

kd-tree を用いたワイヤフレームの生成に代わる方法として、座標だけでなく他の情報を利用することを考える。移動計測において点群を取得した際、点の 3 次元座標や反射強度だけでなく、点の取得時刻も GPS を使って記録される。今回はこの GPS 時刻を利用することにより、近接した点群を繋ぐことを考える。

線状物体の生成方法は以下の通りである。

- (1) 始めに、スキャンライン方向において近接した点を繋ぐことで、スキャンラインに沿う方向のワイヤを生成する。
- (2) スキャンラインに沿ったワイヤフレームを作成した後は、1 周後のスキャンライン上の点の付近から近傍点を探索する。1 周後の点を得る際は、レーザスキャナの回転数を利用する。当該の点の 1 周期（＝回転数の逆数）後の時刻の付近にて取得された点の中から、当該の点の最近傍に存在する点を探し、その点との間にエッジを作成する。これを各点で繰り返す。

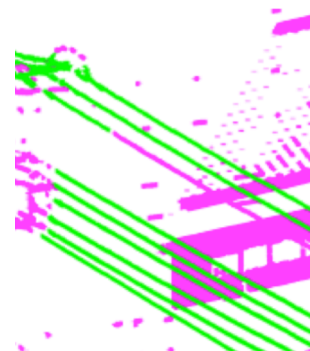


図 5 線状物体の抽出結果



図 6 200Hz、5120 点/回転の点への適用

この手法を用いて、50Hz、20480 点/回転で得られた線状物体の点群からワイヤフレームを作成したものが図 4 である。また、図 5 は、50Hz、20480 点/回転の点群に対して提案手法を利用して線状物体を抽出した結果である。

今回の提案手法は、隣のスキャンラインに近傍点が存在するという前提でワイヤフレームを生成するものである。この方法は、スキャンラインあたりの点数が多く、全てのスキャンラインにおいて線状物体の点を取得しているときに有効な手法である。今回の提案手法を他のスキャナで取得した点群に適用すると、線状物体の点を取得できていないスキャンラインでワイヤは断たれてしまうので、連続的なワイヤフレームとして復元することはできない（図 6）。

### 4. まとめ

本研究では、スキャンライン間隔とスキャンライン上の点間隔が大きく異なる点群データに対する線状物体抽出のための手法を提案した。また、本手法により線状物体の形状再構成ができることを確認した。今後は、障害物などに隠されて分断されている部分を補完する手法や、未検出の線状物体の追跡手法、たわみなどの物理制約などについても考えていきたい。

- [1] 小栗昇悟, 敷地琢也, 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, 平成 25 年度精密工学会春季大会講演論文集