

## (46) 道路面変状検知のための多時期車載 LiDARデータの精密位置合わせ手法の開発

出口 翔理<sup>1</sup>・須崎 純一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:deguchi.shori.76r@st.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 京都大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp

現在、道路計測においてmobile mapping system (MMS) の利用が進んでおり、二時期のMMS点群データの位置を合わせることでその間に生じた変状を検知できる。しかし道路を通行する車両や歩行者等のため、MMSデータには異なる領域でデータが欠損することがあり、それによって従来手法による位置合わせが困難となる場合がある。そこで本研究では、二段階の処理から構成される欠損に頑健な位置合わせ手法を提案する。第一段階では、エッジよりも欠損に頑健に抽出しやすい平面構造を抽出し、平面から得られる直線や鉛直平面への投影を利用して、大まかな相対移動量、相対回転量を補正する。第二段階では従来からの代表的な手法で、良好な初期値の下で高精度の位置合わせを実現できるIterative Closest Point (ICP) 法を適用する。屋内での地上light detection and ranging (LiDAR) で取得したシミュレーションデータに対して、提案手法を用いた結果、欠損のある場合でも約9.4 mmの精度で位置合わせできた。

**Key Words :** Co-registration, MMS, LiDAR, ICP, Point Cloud

### 1. はじめに

公共事業予算の縮小に伴い、道路の維持管理の重要性が高まっており、道路面の変状(わだち掘れ等)を効率よく検知する方法が求められている。近年、道路面計測に活用されるようになったmobile mapping system (MMS) を用いて、同じ場所を計測した二時期のデータを比較することで、二時期間に生じた変状を検知できると考えられる。しかし、MMS計測で取得した点群データには、主にglobal navigation satellite system (GNSS) の測位精度から生じる系統誤差が含まれる。よって複数のMMSデータを比較するには、相対位置合わせが必要である。

点群位置合わせの手法は、特徴量の利用という観点から二種類に大別できる。特徴量を利用しない手法として代表的なものに、BeslらによるIterative Closest Point (ICP) 法が挙げられる<sup>1)</sup>。ICP法は、二つの点群間での対応点ペアの決定と、対応点間距離の二乗和を最小化する変換を繰り返すことで、非常に精密な位置合わせを行う手法である。しかしICP法では、二つの点群の初期の相対移動量や相対回転量が大きい場合や、対応するはずの領域において一方の点群が欠損している場合に、適当な対応点ペアを決定することができず、位置合わせが収束しないと

いう問題がある。また、特徴量を利用して位置合わせする手法として、建物等のエッジを利用するものが数多く提案されている。例えば金野らは、建物の稜線となる直線の特徴量として抽出し、位置合わせする手法を提案している<sup>2)</sup>。一般的に特徴量を利用する手法は、特徴量を利用しない手法よりも計算量が少なくすむ。

MMSデータは、GNSSの測位誤差等により二時期のデータの位置ずれが大きく、また車両や人により生じるデータの欠損が大きい場合もあり得る。したがって、MMSデータを位置合わせする際にICP法を直接適用することは、安定性や位置合わせ精度の点で実用的ではない。また、エッジが欠損することも考えられるので、点や直線の特徴量として利用する方法でも位置合わせできない可能性がある。

そこで本研究では、データの欠損にも頑健な二時期の点群データの位置合わせ手法を提案する。提案手法は二段階の処理から構成され、まず初期の相対移動量や相対回転量が大きいデータに対して、エッジよりも欠損の影響を受けにくい特徴量として平面構造に注目して大まかにパラメータ値を推定する。その後、その結果をICP法に代入して、最終的に高精度な位置合わせを達成する。

## 2. 使用データ

京都大学桂キャンパス内の廊下を対象として、地上据置型light detection and ranging (LiDAR) で異なる二地点から計測し、二つの点群データを取得した。計測時には反射ターゲットを複数個設置し、精度検証に用いた。

一方の地点からの計測時には、変状に見立てた厚さ12 mmの木材を四か所に設置した。そのうちの一か所は木材を二段重ねにして、変状の大きさの違いを再現した。また、MMSデータを想定して、二つの計測データに対して恣意的な向きと位置のずれを生じさせた。こうして得られた二つのデータを合わせてデータセット1と呼び、木材を設置した方をデータ1、木材を設置していない方をデータ2とする。次に、データセット2として、データセット1の各データの一部の点を欠損させたものを作成した。各データの点数をまとめたものを表-1に示す。また計測場所の様子を図-1に、データセット1、データセット2の点群データをそれぞれ図-2、図-3に示す。



図-1 計測場所

表-1 使用データの点数

	データ 1	データ 2
データセット 1	391,128	286,121
データセット 2	315,387	247,206

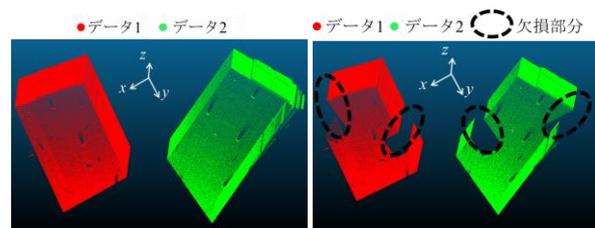


図-2 使用データ(左:データセット1, 右:データセット2)

## 3. 位置合わせ手法

### (1) 概要

本研究の提案手法のフローチャートを図-3に示す。図-3に示した通り、本研究の位置合わせは大きく二段階に分かれる。まず第一段階の位置合わせによって、データ間の向きと位置のずれをある程度小さくする。第二段階では、ICP法を用いてより高精度な位置合わせを達成する。

### (2) 第一段階の位置合わせ手法

#### a) 概要

第一段階の位置合わせでは、主に鉛直平面(壁等)を特徴量として利用する。この位置合わせは、仰角方向の回転による補正、方位角方向の回転による補正、y軸方向の平行移動による補正、x軸方向の平行移動による補正、z軸方向の平行移動による補正の順で、逐次補正しながら次のステップへ進む。各方向について順番に補正するのは、同時に補正量を求めるのが困難なためである。

#### b) 仰角方向の回転量補正方法

まず各データの地盤面(床面)の法線ベクトル(z軸の正の向きを正とする)を計算する。この法線ベクトルがそれぞれz軸の正の向きと一致するようにデータ全体を回転させることで仰角方向の回転量の補正とする。

#### c) 方位角方向の回転量補正方法

方位角方向の補正には、データ中に存在する鉛直な平面を用いる。まずそれぞれのデータから鉛直な平面をす

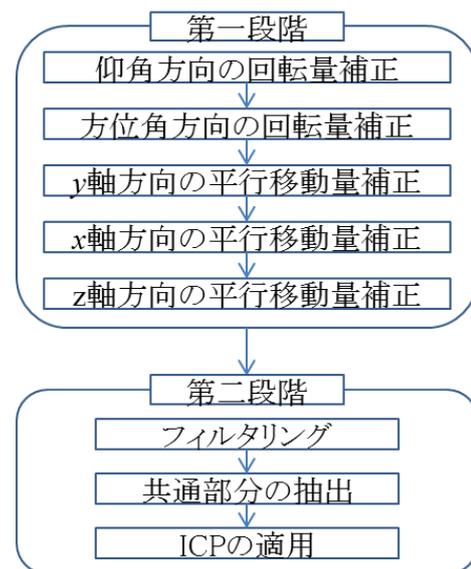


図-3 提案手法のフローチャート

べて抽出する。その後、出力した図から目視によりデータ間で対応する平面を判断・選択し、その平面が含まれる範囲をそれぞれ数十センチ単位で指定し抽出する。次に、抽出した平面の法線ベクトルを計算し、その向きがy軸の正の向きと一致するように、データ全体を回転させることで、方位角方向の回転量の補正とする。

#### d) y軸方向の平行移動量補正方法

ここではc)で抽出した範囲の平面を用いる。抽出した平面を構成する点の重心を計算し、そのy成分の差だけ、一方のデータ全体をy軸方向に平行移動させることで、y軸方向の平行移動量の補正とする。

#### e) x軸方向の平行移動量補正方法

ここでは、x軸に沿った点の発生確率を利用する。それぞれのデータから鉛直平面を抽出して得られた点群において、1 cm幅ごとのx軸に沿った点の発生確率を調べる。発生確率が最大となる位置は、c)で選択した平面と直交する鉛直平面のある位置とみなせる。よって、点の発生確率が最大となる位置は、データ間で対応する二つの平面のある位置だと考える。そこで、そのx座標の差だけ、一方のデータをx軸方向に沿って平行移動することで、x軸方向の平行移動量の補正とする。

#### f) z軸方向の平行移動量補正方法

z軸方向の平行移動量補正方法を示す。まず地盤面を水平方向のグリッドに分割する。次に対応するグリッドの鉛直距離の二乗和を最小にするように一方のデータ全体を平行移動させることで、z軸方向の平行移動量の補正とする。

### (3) 第二段階の位置合わせ手法

第二段階では、まず人や車等のノイズを除去するため、フィルタリングを行い地盤面の点のみを抽出する。次に欠損の影響を除くために、鉛直上方から見たときの共通部分を抽出する。その後、ICP法を適用することで精密な位置合わせを行う。

## 4. 結果と考察

第一段階の各ステップにおける補正結果を図4～8に示す。また、第二段階終了後の位置合わせ結果を図9に示す。図4～9より、初期位置が大きく異なる二つのデータを、提案手法による第一段階の位置合わせによって、上手く補正できたことがわかる。

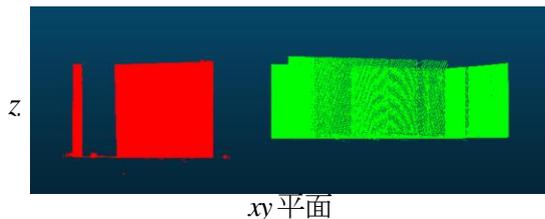


図-4 仰角方向の回転量補正後の結果  
赤色がデータ1、緑色がデータ2の点群

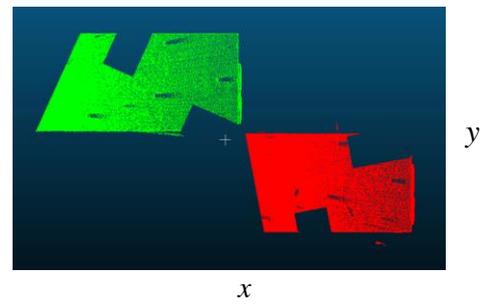


図-5 方位角方向の回転量補正後の結果

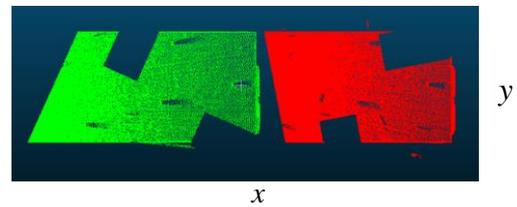


図-6 y軸方向の平行移動量補正後の結果

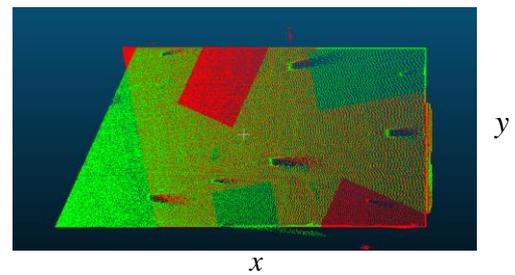


図-7 x軸方向の平行移動量補正後の結果

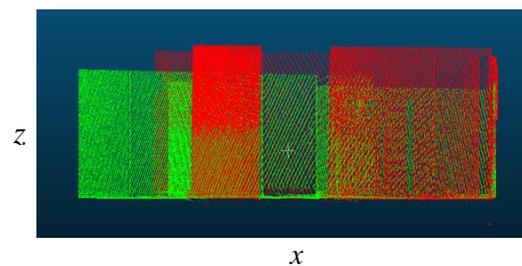


図-8 z軸方向の平行移動量補正後の結果

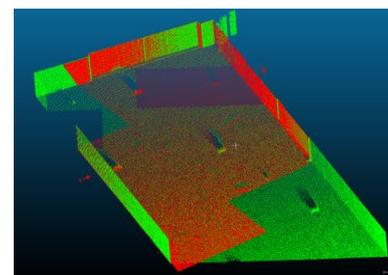


図-9 最終位置合わせ結果

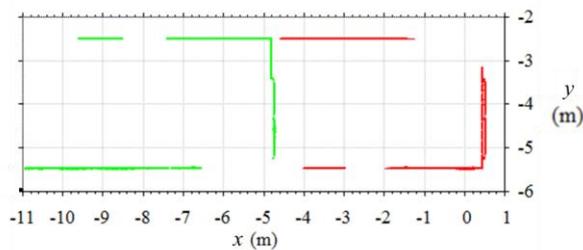


図-10 xy平面における鉛直平面の投影位置  
赤色がデータ1, 緑色がデータ2の位置  
(y軸方向の平行移動量補正後)

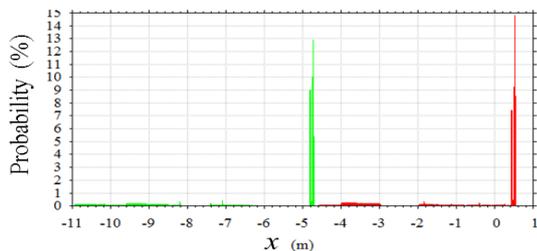


図-11 x軸方向に沿った点の発生確率  
(y軸方向の平行移動量補正後)

表-2 位置合わせ結果

		RMSE (mm)			
		全体	x成分	y成分	z成分
位置合わせ前		5945	5186	2845	596
欠損なし	第一段階終了後	5.7	2.7	4.0	2.9
	第二段階終了後	5.1	0.3	0.4	0.7
欠損あり	第一段階終了後	9.8	5.2	7.1	4.5
	第二段階終了後	9.4	5.8	7.4	0.8

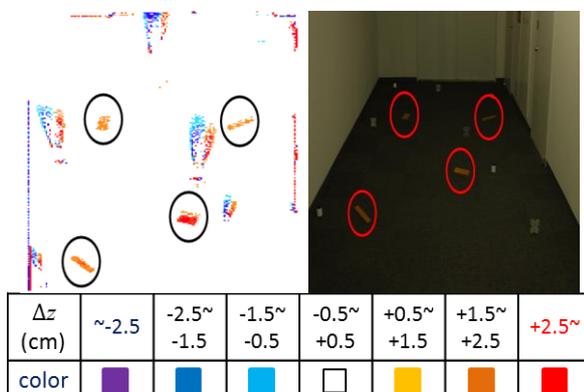


図-12 変状検出  
(左: 検出結果, 右: 木材設置場所)

次に, 3. (2) d)で述べた鉛直平面をxy平面に投影した結果を図-10に, 3. (2) e)で述べたヒストグラムを図-11に示

す。図-10, 11より, 対応する鉛直平面のあるx座標において, 点の発生確率が最大であることが確認できる。

次に, 位置合わせ前後のRMSEを表-2に示す。表-2に示した通り, 最終位置合わせ後のRMSEは欠損なしの場合5.1 mm, 9.4 mmであった。欠損ありの場合に精度が少し低下したものの, 道路面変状検知のために必要な位置合わせ精度は1 cm程度であるため, 本研究で用いたデータに対しては必要精度を達成できたと言える。第一段階終了後のRMSEについて, 鉛直成分が水平成分に比べてやや大きい結果となったのは, 仰角方向の補正量の推定誤差による要因が大きいと考えられる。

## 5. 変状検知

位置合わせ後の二つの点群から, 変状に見立てた木材を検出できるかどうか確認した。その結果を図-12に示す。図-12左の黒丸で囲んだ部分を見ると, 検出に成功したことがわかる。黒丸で囲んだもの以外に検出されているのは, 精度検証用に設置した反射ターゲットである。

## 6. 結論

本研究で提案した手法を用いることで, 屋内を対象とした地上据置型 LiDAR 計測データに対して, 欠損のある場合にも誤差約 9.4 mm での位置合わせを達成できた。また, 位置合わせの後の点群データから, 高さ 12 mm の物体を検出することができた。

今後の課題としては, 第一に対応する平面選択の自動化が挙げられる。また, 屋外で計測した地上 LiDAR データや MMS の実データに対しても提案手法が有効であるか検証する必要がある。

## 参考文献

- 1) Besl, P. J. and McKay, H. D.: A method for registration of 3-D shapes, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp.239-256, 1992.
- 2) 金野哲士, 今野晃市, 藤本忠博, 千葉則茂: 測定点群を用いた建造物モデリングのための特徴線抽出法と特徴線マッチング法, *芸術科学会論文誌*, Vol. 5, No. 3, pp.80-91, 2006.
- 3) 株式会社パスコウェブページ: 道路現況レーザ計測 (MMS), <<http://www.pasco.co.jp/products/mms/>>, (入手 2015.1.15).
- 4) 関俊明, 内村圭一, 上瀧剛: 3次元道路データからの道路地物の認識, *電子情報通信学会技術研究報告. ITS*, Vol. 112, Issue 318, pp.57-62, 2012.