

点群投影画像に基づく大規模環境レーザ計測点群の自動位置合わせ -高さ情報と遮蔽情報を用いた画像の拡張による効率化と検証-

北海道大学 ○角 太樹, 伊達 宏昭, 金井 理

要旨

本研究ではこれまで、点群を基準平面（地面）へ投影して得られる点群投影画像の特徴点マッチングに基づく大規模環境レーザ計測点群の自動位置合わせ技術の開発を行ってきた。本報では、点群投影画像の各セルに、対応する点群の高さ情報ならびに遮蔽情報を付与し、位置合わせにおける不適な対応を位置合わせ処理対象から排除することで、従来より効率的な自動位置合わせ手法を提案する。

1. はじめに

近年、地上設置型のスキャナである TLS (Terrestrial Laser Scanner) がプラント、建築、土木、測量、法廷問題などの幅広い分野で利用されている。モデリングなどの点群アプリケーションにおいては、環境や物体表面全体を計測した完全な点群が取得できていない事が望ましいが、レーザ計測では遮蔽が原因となりスキャナから可視な領域しか計測できないため、完全な点群を得るためには複数箇所から計測した点群を位置合わせする必要がある。

本研究はこれまでに、点群投影画像[1] (Point Projection Image, 以下 PPI) の妥当性評価を用いた複数大規模点群の自動位置合わせ手法[2]を提案してきた。この手法は、PPI の特徴点マッチングに基づいており、屋外環境のような点群の重複や特徴的な形状を有する物体が少ない場合でも自動化レベルの高い位置合わせを行うことができる。しかしながら、複数点群の位置合わせにおいては、PPI 内の対応する可能性のある特徴点の組が増加するため、位置合わせの計算に長い時間を必要とするという問題があった。そのため本報では、特徴点に点群の高さ情報を付加することにより、PPI 内の適切な特徴点を効率的に検出することで、従来手法を高速化する。さらに、遮蔽の影響を受けている不正確な高さ情報を検出し、それを考慮した対応点の検出を行うことで、ロバストな位置合わせを実現する。また、提案手法による位置合わせ効率化の効果を検証する。

2. 点群投影画像 (PPI) を用いた位置合わせ

本研究の基礎となる PPI を用いた位置合わせ手法について述べる。この手法は PPI の生成とペア位置合わせ、PPI の妥当性評価から成る (図 1)。

2.1 点群投影画像 (PPI) の生成とペア位置合わせ (A1)

まず、各点群から基準平面 (地面) の抽出を行い、指定された投影区間 (基準平面からみた高さ $h_{min} \sim h_{max}$ の間 (図 2(a))) にある点集合を、基準平面上のグリッドに投影し、点を含むセルを投影点とすることで PPI を生成する。次に、PPI 中の投影点から作成された輪郭から Douglas-Peucker 法を用いて角点と端点を特徴点として抽出する (図 2(b))。最後に、PPI におけるスキャナ位置のセルからレイトリングを行い、空間分類を行う。ここでは、特徴点や投影点のセルを OCCUPIED、スキャナ位置から OCCUPIED までの範囲で物体が存在しないセルを FREE、OCCUPIED から先の未知のセルを UNKNOWN と設定する。

ペア位置合わせではまず、効率的に対応点を見つけるため、各点群の PPI から特徴点を 2 点選択し、その点間距離を計算する処理を特徴点の全組み合わせに対して行い、特徴点間距離をインデックスとする特徴点対のハッシュ表を作成する。次に、2 つの点群中 (ソース, ターゲット) の基準平面を一致させる座標変換を行う。そして、ソース PPI からランダムに特徴点対 s を選択し、ハッシュ表を用いて、 s と等しい点間距離を持つターゲット PPI 内の特徴点対 t を抽出する。その後、 t と s が一致するようにソース PPI を座標変換し、画像上で重なった特徴点の個数を合致度として求める。以上の処理を反復し、合致度が最大とな

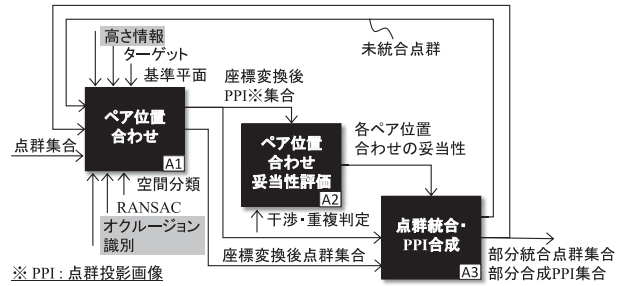
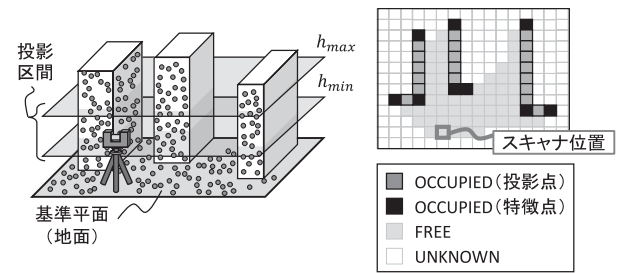


図 1 提案手法概要 (灰: 本報追加部分)



(a) 基準平面への点の投影 (b) PPI の生成

図 2 点群投影画像 (PPI) の生成

る座標変換行列から三次元空間の対応する座標変換行列を計算し、ソース点群に適用する。

2.2 妥当性評価を用いた複数点群の位置合わせ (A2,A3)

複数点群の位置合わせではまず、点群集合からターゲットとして点群を 1 つ選択し、ターゲットと他の点群 (ソース) の間でペア位置合わせを行う。次に、ペア位置合わせ結果を元に、ターゲット PPI とソース PPI の干渉率 (OCCUPIED と FREE の重なり) と重複率 (FREE と FREE の重なり) を計算することで各ペア位置合わせの妥当性を評価し、評価の高い点群・PPI を統合することで、部分統合点群・部分合成 PPI を生成する。そして、全てのソースが統合されるまで、未統合のソースから新たなターゲットを選択し、同様の処理により、部分統合点群・部分合成 PPI を繰り返し生成する。全てのソースが統合されたのち、各統合点群を 1 つの点群とみなし、上記処理を反復する。

3. 提案する位置合わせ手法

3.1 既提案手法の問題点と改良案

2.2 節で述べた妥当性評価を用いた複数点群の位置合わせでは、部分統合点群・部分合成 PPI の作成によりロバストな位置合わせを可能にしたが、処理時間が非常に長くなるという問題があった。これは、PPI の合成によって PPI 内の特徴点数が増加するため、等しい距離の特徴点対を効率よく見つけるためのハッシュ表の衝突が増加し、ソース PPI の座標変換と合致度計算を莫大な回数繰り返してしまうためである。この問題を解決するため、特徴点に点群の高さ情報を付加し、ターゲットのハッシュから取り出した特徴点対のうち、ソースの特徴点対と高さ情報が一致する

ものみを座標変換と合致度計算に用いることで処理の効率化を行う。さらに、遮蔽による不正確な高さ情報を識別するため、遮蔽の判定を行う。

3.2 高さ画像の生成と高さ情報を用いた位置合わせ

PPI に高さ情報を付加するため、高さ画像を生成する。まず、PPI 生成における投影区間の下限値 (h_{min}) 以上に存在する点を基準平面に投影し、基準平面上で定義したグリッドの各セルにおいて、投影点の最大の高さ情報 $h[m]$ を登録することで高さ画像を生成する (図 4(a))。次に、高さ画像の各セルの値を、PPI 内の特徴点に付加する (図 4(b))。

ペア位置合わせの際に、ソース PPI から選択された特徴点対 s の高さ情報 (h_{s1}, h_{s2}) と、ターゲットのハッシュから抽出された特徴点対 t の高さ情報 (h_{t1}, h_{t2}) を取得する。ここで、式(1)を満たすならば、座標変換行列と合致度計算を行う。ここで、 τ は高さの閾値を意味する。

$$(|h_{s1} - h_{t1}| < \tau) \wedge (|h_{s2} - h_{t2}| < \tau) \quad (1)$$

3.3 遮蔽の判定

高さ情報を用いた位置合わせの問題点として、遮蔽が原因となり、対応するべき特徴点対から異なる高さ情報が取得される場合がある (図 5)。この事は、正しい位置合わせ結果が得られる対応特徴点対でも式(1)が満たされず、座標変換と合致度計算が実施されない事を意味する。この問題を解決するため、各特徴点の高さ情報が、遮蔽の影響を受けているか否かを以下の処理で識別する。

- ① 点群の各点を、計測中心を原点とした方位角 θ と仰角 ϕ で表し、 $\theta\phi$ 平面上で点の隣接関係を取得する。
- ② 各点に対して、隣接点との差分ベクトルの外積を用いて法線 \mathbf{n} を計算する。
- ③ シード点をランダムに選択し、各点の法線間角度を元に領域成長法を行い、点群から平面領域を抽出する。
- ④ $\theta\phi$ 平面上で隣接する平面領域を P_A, P_B とし、 P_A, P_B 間の境界点集合を B_{PA}, B_{PB} として求める (図 6(a))。そして、 B_{PA} の各点で B_{PB} 内の隣接点と原点からの距離値を比較し、距離値が大きい点を遮蔽で生じた境界点とする。

このアルゴリズムを用いて遮蔽の影響を受けている点を判定した結果を図 6(b) に示す。

また、高さ情報を用いた位置合わせ処理では、2 つの特徴点 A, B ($h_A > h_B$) を式(1)で比較する際に、 h_B が遮蔽の影響を受けていると判定されているならば、式(1)を満たしていない場合でも座標変換と合致度計算を行う。

4. 位置合わせ結果と評価

複数の屋外環境の建物を TLS で計測した点群に対して、提案手法を用いて位置合わせを行った結果を図 7、表 1 に示す。なお、各点群はおおよそ 500 万点であり、点群の投影高さは 2.0m~2.5m、閾値 τ は $\tau = 1$ とした。図 7 から正しく位置合わせを行えていることを確認した。また、表 1 より位置合わせ処理時間の短縮 (従来法の 20% 以下の処理時間) を確認した。また、遮蔽判定を導入していない場合は正しい位置合わせを行う事が出来なかった点群 (データセット B) も、遮蔽判定を導入することで位置合わせが可能になることを確認した。

5. おわりに

高さ情報と遮蔽判定を用いる事で PPI を用いた TLS 点群の位置合わせ手法の高速化を行った。また、提案手法による位置合わせを行い、従来法に比べ効率的な位置合わせが行える事を確認した。

参考文献

- [1] 松山他, 大規模環境統合点群モデルの自動生成 (第三報) - 点群ペア位置合わせとマッチ判定による複数点群の完全自動位置合わせ, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.391-392, (2014)
- [2] 角他, 点群投影画像に基づく複数大規模環境レーザ計測点群の自動位置合わせ空間分類に基づくレジストレーション妥当性評価を用いた手法性能改善-, 2016 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.795-796, (2016)

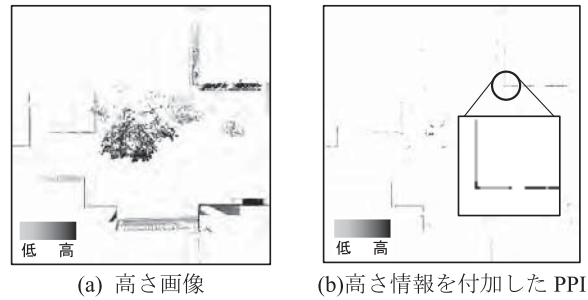


図 4 高さ情報の付加

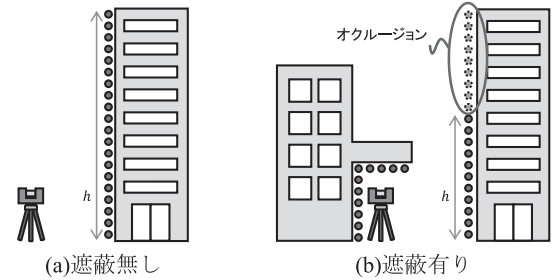


図 5 遮蔽による高さ情報の違い

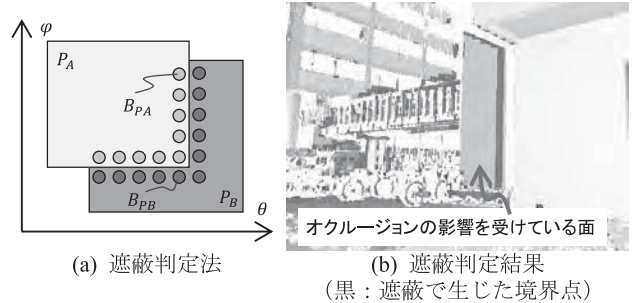


図 6 遮蔽判定結果

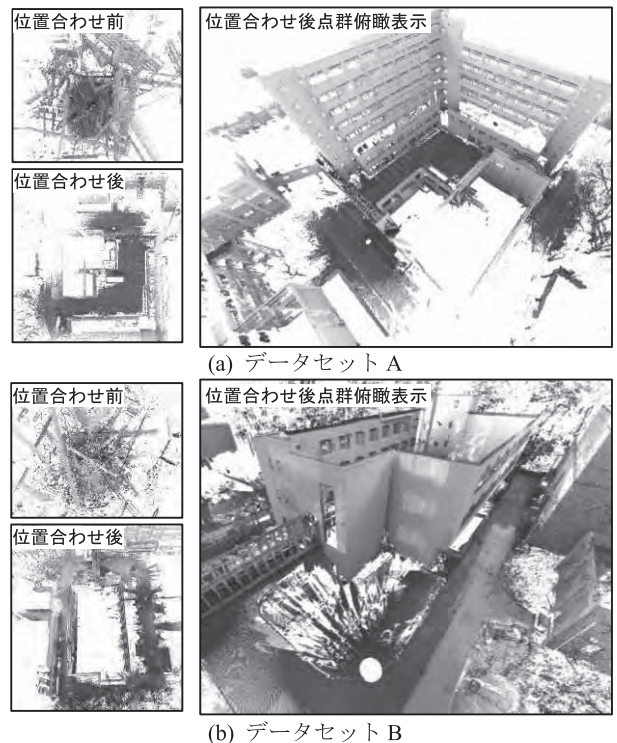


図 7 位置合わせ結果

表 1 位置合わせ処理時間比較

データセット	点群数	総点数	実行時間[s]	
			従来法[2]	提案手法(従来比)
A	7	30,295,141	419.8	80.5(19.1%)
B	13	75,239,794	2676.7	489.3(18.2%)