

市街地 MMS 計測点群のロバスト位置合わせのためのラフ位置合わせとずれ算出用点群評価

北海道大学 ○高井俊吾, 伊達宏昭, 金井理
 アジア航測株式会社 本間亮平, 織田和夫, 池田辰也

要旨

本研究では、MMS 走行軌跡上のずれ量算出箇所における ICP による点群ずれ修正量算出と、軌跡に沿った修正量の補間による MMS 計測点群の位置合わせ法を開発した。本報では、ロバストな位置合わせを目的として、点群投影画像を用いたラフ位置合わせ法ならびに法線ガウス球を用いたずれ量算出用点群の評価法とずれ量算出箇所決定法を提案する。

1. はじめに

近年、自動車にレーザスキャナや GPS, IMU (慣性計測装置) などの各種計測機器を搭載し、走行しながら市街地の 3 次元環境情報を収集する MMS (Mobile Mapping System) が普及しつつある。同一エリアを複数回計測した場合の MMS 計測点群間には、計測走行時の GPS 衛星の捕捉状態や IMU ドリフトに起因したずれが生じる場合がある。現状では、この点群間のずれの修正に多大な労力が必要となっており、この修正を自動化できる高速・高精度な MMS 計測点群の位置合わせ手法が必要となっている。

本研究では、走行軌跡からのずれ修正箇所の抽出、MMS 計測点群向けの ICP アルゴリズムによるずれ修正量算出、データ取得時刻を用いたずれ修正量補間による点群修正を用いた、高精度な位置合わせアルゴリズムの開発を行った [1]。本報では、位置合わせのロバスト性改善のためのラフ位置合わせ手法とずれ修正量算出用点群の評価を用いたずれ量算出箇所の決定法を提案する。

2. 入力データと位置合わせ手法概要

本研究で使用する MMS 計測点群は、3 次元座標値、取得時刻を持つ点の集合であり、走行軌跡は、3 次元座標値、取得時刻、計測データの精度情報 (予測誤差) ならびに MMS の姿勢情報を持つ点 (軌跡点) の集合である。本研究で開発した位置合わせアルゴリズムの概要を以下の①-④に示す (図 1)。

① 走行軌跡からのずれ修正点の抽出

走行軌跡上からずれ修正が必要と予測される箇所の軌跡点 (ずれ修正点) を、軌跡の各点の精度情報ならびに走行軌跡の交差判定により自動的に抽出する。

② MMS 計測点群向けの ICP によるずれ量算出

点群が重複している領域に存在するずれ修正点周辺の点群に対して、MMS 計測点群向けの ICP アルゴリズムである CCICP (Classification and Combined ICP) を適用し、点群間のずれ量の算出を行う。この CCICP は、主成分分析による点分類に基づく不適対応の除去と、点一点間、点一平面間距離の同時最小化を用いることにより、MMS 計測点群のずれ量を高精度に算出することを可能にしている。

③ 点群修正のための座標変換パラメータ導出

①で抽出されたすべてのずれ修正点と、②で求められたずれ量を用いて、各ずれ修正点における点群修正のための並進・回転パラメータを絶対位置、相対位置、位置合わせ制約に対する最小二乗解として求める。

④ 導出パラメータの線形補間を用いた点群位置修正

時刻に基づくずれ修正パラメータの補間により点群内の各点の位置を修正する。

従来手法では、点群ずれ量算出に CCICP のみを用いていたためずれ量が大きい際には、使用するパラメータの調

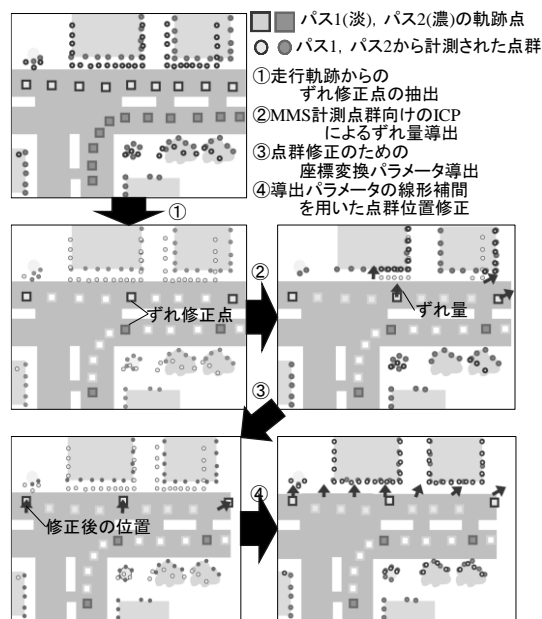


図1 レジストレーション手法概要

整が必要であり、また、誤対応の増加によりずれ量の算出が適切に行われない可能性があった。また、CCICP に用いられる点群が位置合わせに有用な特徴を含んでいるとは限らず、ICP によってずれ修正量が適切に算出される保証が無かった。

3. ラフ位置合わせ手法

MMS 計測点群内のずれは、並進が主であり、点群同士の姿勢はほぼ一致している。したがって本報では、CCICP の前処理として、並進のずれを高速に修正可能なラフ位置合わせ手法を提案する。なおこの処理の入力は、位置合わせのソース、ターゲットとなる 2 つの点群とそれぞれに対応するずれ修正点 (軌跡点) である。

鉛直方向の位置合わせ

MMS の基準位置 (軌跡点) は地面からの高さが一定であり、異なるパスにおける地面の高さがほぼ一定と仮定し、鉛直方向のずれ量 $t_z = q_{i_z}^T - q_{i_z}^S$ を求める。ここで、 $q_{i_z}^T, q_{i_z}^S$ はターゲットずれ修正点 q_i^T とソースずれ修正点 q_i^S の z 座標値である。最後に、ソース点群内の各点の z 座標値に t_z を加え、鉛直方向のずれ量を修正する。

水平方向の位置合わせ

本研究では、点群投影画像 [2] を用いて水平方向の位置合わせを行う。提案手法は以下の 3 ステップからなる (図 2)。

① 点群投影画像の作成

地面からの高さが一定範囲内にある点群内の点集合を xy 平面に投影する。次に投影点群が存在する投影面上の範囲

を1辺の長さが d_c のグリッドで分割し、投影点を含むセルの値を1, 含まないセルの値を0として2値画像を作成する。以下ではこのセルを画像のピクセルと呼ぶ。

② 画像同士のマッチング

ソース点群とターゲット点群から得られた点群投影画像を用いて、二つの画像の非類似度が最小となるソース画像の移動量 $\Delta i_{min}, \Delta j_{min}$ を、ソース画像を1ピクセルずつシフトしながら見つける。ここで非類似度は、対応するピクセル値の差分の総和により求められる。

③ 点群の位置合わせ

求めたソース画像の移動量から点群の水平方向のずれ量 $t_x = \Delta i_{min} d_c, t_y = \Delta j_{min} d_c$ を求め、ソース点群内の各点に適用する。

4. ICP 適合度に基づくずれ量算出箇所の決定

既提案手法[1]では、点-平面間距離の最小化をすることから、ずれ算出用部分点群内に非平行な平面が3つ以上含まれている場合には、点群のずれ量が安定に算出されると言える。本報では、ずれ算出用部分点群内に含まれている平面の数と大きさならびに向きを、法線ガウス球を用いて近似的かつ高速に認識することで部分点群がICPに適しているか否かの指標(ICP適合度)を計算し、これを用いてずれ量算出箇所(ずれ修正点)を決定する手法を提案する。ここで、ICP適合度とは、部分点群内に含まれる非平行な平面の中で、3番目に面積が大きいと推定される平面上の点の数とする。ICP適合度は、点群の各点の法線のガウス球への投影と法線のクラスタリングを行い、3番目に大きいクラスタの法線数として求められる。提案手法は、以下の3ステップからなる(図3)。

① ずれ修正点候補抽出とICP適合度算出

点群内でずれ量が大きい箇所を見つけるために、軌跡内の各点において予測誤差が閾値 d_{th} [m]以上の点をずれ修正点の候補として抽出する。次にずれ修正点候補から軌跡に沿って前後 d [m]以内に存在する点群内の点を、軌跡点の時刻情報を用いて抽出し、抽出された部分点群に対してICP適合度を算出する。

② ずれ修正点の決定

軌跡の始点から軌跡に沿った距離 d_l [m]ごとに軌跡を分割し、分割された領域内に存在するずれ修正点候補の中で、ICP適合度が最大の点をずれ修正点として抽出する。

③ ずれ修正点の組の決定

②で決定されたずれ修正点と組になる点(図3灰色の三角形)を抽出し、ずれ修正点に追加する。

5. 結果

図4にラフ位置合わせ結果を示す。使用した点群は、1m程度のずれを含む約170万点の点群である。この点群に本手法を適用した結果、ずれが正しく修正されることを確認した。また処理時間は0.2secであった(CPU: Intel Core i7 3.3GHz)。また、図5にICP適合度を用いたずれ修正点抽出結果を示す。ずれ修正点として選択された候補点を黒色点、選択されなかった候補点を灰色点で表す。図より抽出されたずれ修正点の周辺点群には、非平行な平面(建物壁面)が3つ以上含まれ、ICP適合度が低い箇所(点群)には、非平行な大きい平面が複数含まれていないことが分かる。なお、ICP適合度算出の処理時間は約100万点の点群に対して0.04secであった(CPU: Intel Core i7 3.3GHz)。

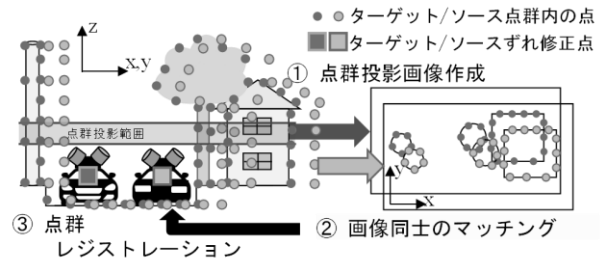


図2 ラフレジストレーション手法

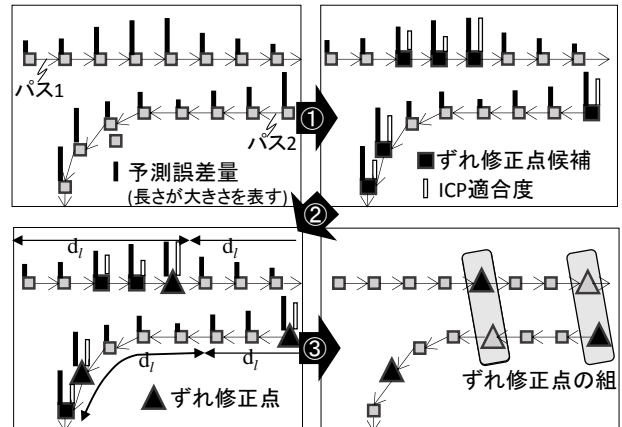


図3 ICP適合度を用いたずれ量算出箇所の決定

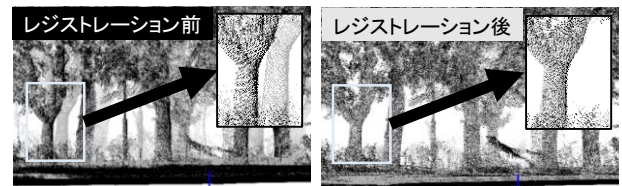


図4 ラフ位置合わせ結果(北海道大学構内)

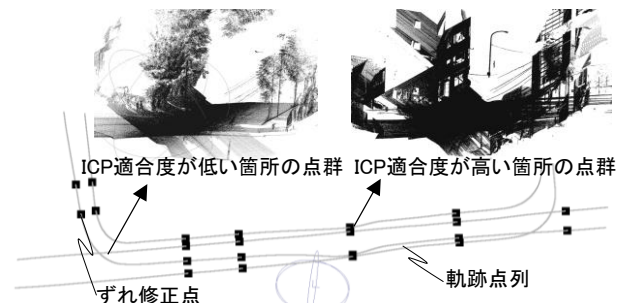


図5 ずれ修正点抽出結果

6. 結論

本報ではMMS計測点群の位置合わせのロバスト性を改善するために、ラフ位置合わせ手法とICP適合度を用いたずれ修正点決定法を提案した。ラフ位置合わせでは、高速に良好な位置合わせ結果を得られることを確認し、ずれ修正点決定では、法線ガウス球を用いたICP適合度算出により、ずれ量を安定に算出できる箇所におけるずれ修正点の自動抽出が可能となった。

参考文献

- [1] S. Takai et.al. Al. "Accurate Registration of MMS Point Clouds of Urban Areas Using Trajectory", Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2, 2013.
- [2] 松山 雄介他, "大規模環境の統合点群モデルの自動生成(第三報)点群ペア位置合せとマッチ判定による複数点群の完全自動位置合せ", 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.392-393, (2013)