

寸法計測に適した点群レジストレーション手法の検討

電気通信大学 ○川崎 春菜, 山本 恵里佳, 青木 智子, 増田 宏

1. 序論

レーザスキャナを用いた点群処理技術は、その効率性などから、近年様々な分野において注目をされており、中でも点群データから対象物の寸法を正確に計測するニーズは多い。しかし、寸法計測においては、点群のレジストレーション誤差のために、寸法が不正確になることが少なくない。

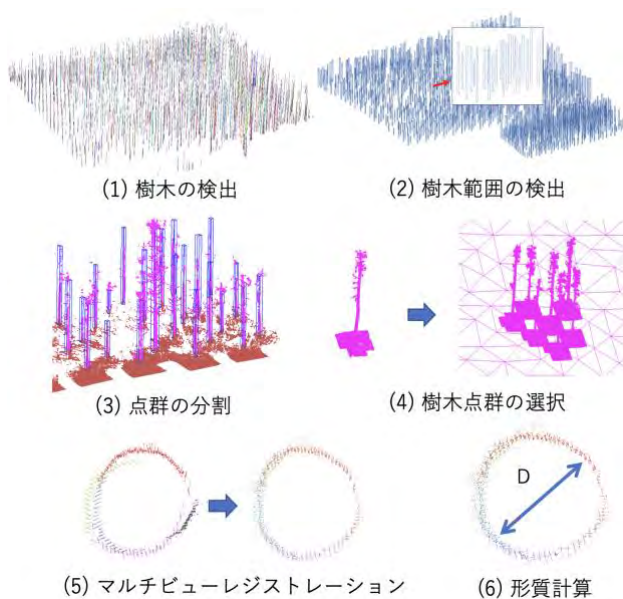
我々はこれまでの研究で、森林の大規模点群から幹を検出する手法を開発した[1]。この研究では、区画内の 729 本の樹木を検出し、その胸高直径を算出した。しかし、広域の点群を正確に位置合わせすることは困難であり、特に、点群密度が小さい樹木においては、レジストレーション誤差が大きくなる問題があった。さらに、多数の位置で計測した点群の位置合わせを行うマルチビューレジストレーションにおいては、点群の組み合わせ方や適用順序も形質算出の精度に影響する。

本研究では、この問題を解決するために、樹木ごとにレジストレーションの範囲や組み合わせ方と変えることによって、正確なマルチビューレジストレーションを行ない、それによって正確な樹木の形質データを算出する方法を検討する。

2. 手法の概要

本研究では、森林を 37 箇所計測した約 36 億点の点群を例題として用いる。提案手法の概要を図 1 に示す。まず、文献[1]に示した手法を用いて、森林の点群から幹検出を行う。次に、樹木範囲を求めるために、検出した幹のそれぞれに関して、bounding box となる矩形領域を算出する。それに基づいて、樹木の点群を分割する。ここでは、37 箇所計測した個々の点群に対して、矩形領域内に含まれる点群を求め、樹木番号をつけたファイルに格納する。

点群レジストレーションにおいては、(4) 注目樹木に関して、その周囲の樹木を選択し、それらの点群ファイルを読み込む。そして、(5) 読み込んだ点群を用いてマルチビューレジストレーションを行い、(6) その樹木の形質を算出する。

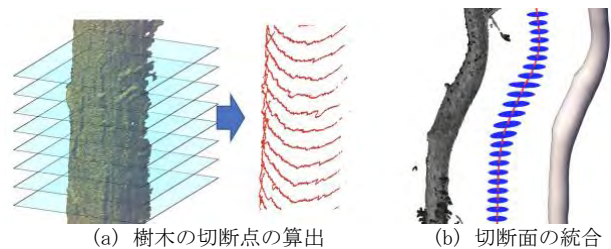


3. レジストレーション手法

3.1. 樹木検出

樹木検出の手法を図 2 に示す。この手法では、初めに点群から地面の Z 座標を推定し、その付近の点を地面点として除去する。地面点が除去された点群に対して、隣接点をエッジで接続したワイヤフレームモデルを作成し、ワイヤフレームモデルを等間隔な水平面で切断して切断点を取得する。その切断点の集合から円もしくは楕円として近似できるものを幹の断面候補として検出する。断面候補が高さ方向に連続して得られれば、それを幹とみなして抽出する。

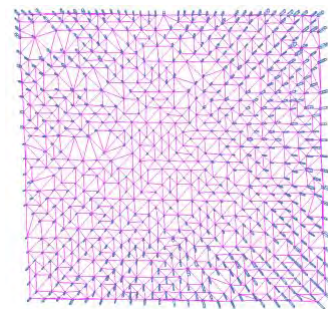
点群データから検出されたすべての樹木に対して、ナンバリングを行い、樹木番号を付与しておく。



3.2. 樹木範囲の検出

次に得られた幹の点群データから x, y, z 座標の最大と最小を求め、bounding box となる矩形領域を算出する。

また、矩形領域の中心位置を水平面上に投影し、図 3 に示すように、3 角形分割を行って、樹木の隣接関係のグラフを取得する。グラフのノードには、樹木番号が保持されている。



3.3. 点群の分割

樹木ごとに算出された矩形領域を用いて、37 箇所計測された点群ファイルのそれぞれを分割する。個々の樹木の点群抽出では、矩形領域にオフセットを与えて拡大し、幹部分と地面を検出する。ここでは、幹部分に 25cm、地面領域に 100cm のオフセットを与えた。地面領域については、最小の Z 座標から閾値までの高さの点群とした。ここでは、高さの閾値を 30cm とした。

幹として抽出された点の個数が閾値を超えたとき、樹木点群として、点群ファイル名と樹木番号を付けたファイル名で格納する。ここでは、点群ファイル i から抽出された樹木番号 j の点群を $T_j^{(i)}$ と書くものとする。

3.4. 樹木点群の選択

レジストレーションは、樹木ごとに行う。まず、対象となる樹木を選択する。単一の樹木のみによるレジストレーションでは、Z 軸周りの回転の自由度が精度よく算出できないため、周囲の樹木の点群も用いる。ここでは、樹木位置の隣接関係グラフを用いて、自分自身を含めた周囲の樹木番号の集合 Λ_t を求める。選択された樹木の例を図 4 に示す。

次に、点群ファイルの選択を行う。図 5 の計測位置のシーケンスを用いて、注目樹木から一定の距離内(20m 以内)で計測した点群ファイルの添字集合 Λ_p を求める。レジストレーションの対象となる点群は、 $P_i = \{T_j^{(i)}\}$ ($i \in \Lambda_p, j \in \Lambda_t$) として算出される。



図 4 周囲の樹木を選択

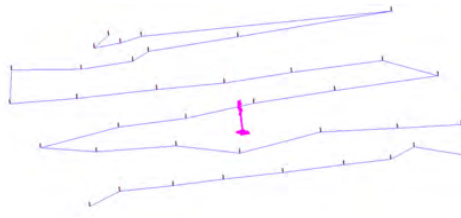


図 5 計測位置のシーケンス

3.5. 点群のマルチビューレジストレーション

点群集合 $\{P_i\}$ ($i \in \Lambda_p$) に対してマルチビューレジストレーションを行う。ここでは注目樹木の樹木番号を t とする。手順は、以下の通りである。

- (1) 点群 P_i のうち、樹木 t の点を最も多く含む点群をターゲット点群 P_{target} とする。
- (2) 次に、樹木 t に関して、 P_{target} の近傍点を最も多く含む点群をソース点群 P_{source} とする。
- (3) P_{target} と P_{source} のレジストレーションを行い、変換行列を算出する。
- (4) 変換された P_{source} を P_{target} に追加する。
- (5) 未処理の点群に対して、(2) 以下の処理を繰り返す。

レジストレーションにおいては、注目樹木に最もよくフィットするように、注目樹木の点群に対しては、重みを大きくする。ここでは、重みを 10 倍とした。また、レジストレーションにおいては、ロバスト ICP の一つである Sparse ICP を用いた。

4. 手法の評価

提案手法の効果を確認するために、図 4 の例題を用いてレジストレーションを行なった。初期の位置合わせは、計測時に設置したターゲットを用いて行なった。しかしながら、位置合わせの精度は悪く、注目点群の幹断面の点群は、図 6 に示したように、大きくずれている。この樹木に対して、提案手法を適用した。

レジストレーションは、図 6 に示す順番となった。図 7 は、順次、ソース点群にレジストレーションを行ない、ターゲット点群に加えていった結果を示している。図 9 にレジストレーション結果を示し、図 10 にレジストレーション前後における胸高直径計測時の円弧フィッティングを示す。また D は 0.1338m, 0.1196m となった。

当初、明らかにずれていた点群が妥当な位置に移動していることが確認できる。

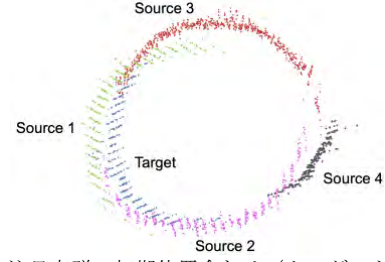


図 7 注目点群の初期位置合わせ (ターゲット使用)

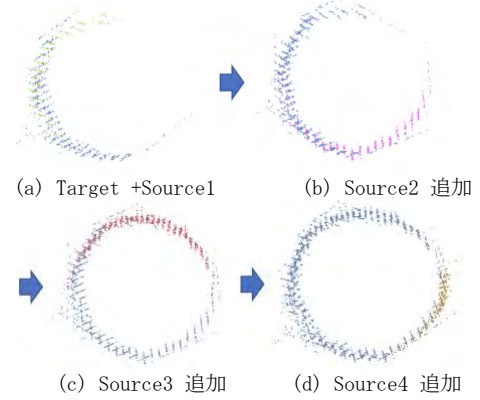


図 8 マルチビューレジストレーション



図 9 レジストレーション結果

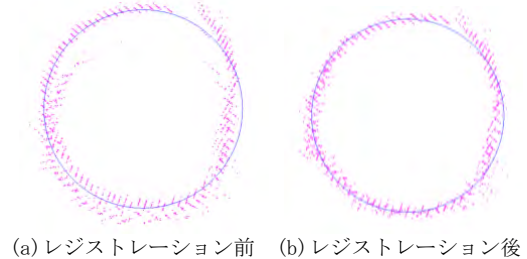


図 10 胸高直径

5. 結言

本研究では、点群から検出した樹木ごとにレジストレーションを補正することで、樹幹の胸高直径を正確に計算する手法を提案した。評価実験では、提案手法によって、レジストレーションの精度が向上することを確認した。

現時点では、手法の基礎的な検討の段階であり、多数の事例での検証はまだ行っていない。今後は、多くの樹木に対して提案手法を適用し、樹木形質の算出精度を検証していく予定である。また、現在、レジストレーションの高速化を図っているところであり、計算時間についても評価が必要である。さらに、今回は森林の点群を対象としたが、本手法は、プラントなどの部材寸法の高精度化にも有用であると考えられる。森林以外の対象物での検証も行っていきたい。

参考文献

- [1] H. Masuda, Y. Hiraoka, K. Saito, S. Eto, M. Matsushita, M. Takahashi, Efficient Calculation Method for Tree Stem Traits from Large-Scale Point Clouds of Forest Stands, Remote Sensing, 13(13), 2476, 2021.