

果樹の生育把握に向けたヒューリスティックな近傍モデルによる 三次元点群からの個体分割方法

仙田薫[†] 繁田亮[†] 郭威^{††} 川原圭博[†]
 東京大学大学院工学系研究科[†]
 東京大学大学院農学生命科学研究科^{††}

1 はじめに

近年、ドローンを用いたリモートセンシングや LiDAR を用いて植物の三次元構造を把握し、農業生産に活用しようという取り組みがなされている。例えば、果樹を対象にドローンで空撮した二次元画像から三次元再構成を行い、得られた三次元点群データをもとに木のボリュームを推定し収穫量予測に活用する手法が検討されている。その際、ドローンによる測定では圃場全体を撮影するため、点群データには環境中の不必要な物体や複数の個体が含まれる。従って初めに点群データを個体ごとに分割する前処理が必要となる。この分割処理の精度は収穫量予想など後の作業の完成度に直接影響するので、より高精度な分割アルゴリズムが求められている。

2 関連研究

一般に、点群を対象とした分割アルゴリズムは広く研究されている。古典的な発想として三次元空間中のユークリッド距離に基づきクラスタリングする手法があるが、圃場に個体が混雑していると枝が接近するため上手く区別できない場合がある。そこで圃場の果樹というヒューリスティックな情報を上手く利用することがより高精度な分割を可能にすると考えられる。例えば、点群を真上から見て平面的に処理し分割する手法もある。まず主幹部分を探索しそこを基点に分水嶺法で枝が広がる領域を決定すると、容易に各個体の水平方向の領域が分かるが、接近する個体間では重なる枝の影響で境界が上手く決定できない場合もある。

本稿では果樹の樹形を考慮した三次元空間中の点群の近傍モデルを定義し個体分割する手法を紹介する。点群の分布する向きを主成分分析から推定し近傍の定義に加味することで実現する。そして最後に、提案した分割手法の性能を評価してその有用性を示す。

3 提案手法

果樹を対象に圃場全体をドローンで測定した点群データから各個体を分割する手法を図1で示した過程ごとに説明する。以降の過程において点群の走査・特徴量推定には各点の近傍を定めておく必要があるが、今回は実装の簡単と処理速度のため Kd 木を用いる。このとき最近傍の点の数を指定するパラメータ k は点群の密度等に影響されるので、各過程ごと実験的に決めた。

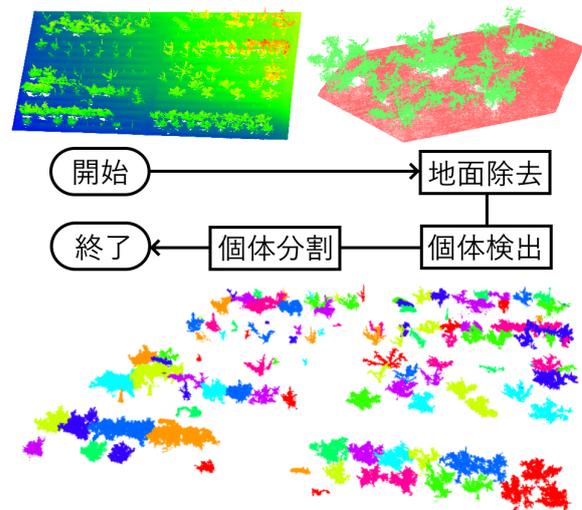


図1: 提案手法のフローチャート。(左上) 圃場全体の点群を高さ方向に色付けした様子。(右上) 除去された地面の様子。(下) 分割された個体を色分けして示した様子。

まず点群から地面に該当する部分を除去する。地面は局所的には平面と見なせるので各点の法線を推定 ($k = 50$) し鉛直方向へ向いている点群を抽出する。ただし、細かな凹凸を拾えないため一度検出された地面の点群から一定距離内 (0.1 m 程度) の点も地面と判断し抽出する (図1 地面除去)。

次に個体分割の基準とするために各個体の主幹部分

を検出する。地面に近い一番太い幹を探すには高さ方向の座標値の極小点を調べればよい。水平方向へ格子状に空間を離散化し、各領域の z 座標最小値を画素値としてもつ平面画像を考える。各個体間の距離の最小・最大値として2パラメータ $r_{\min} \cdot r_{\max}$ が既知として、幅 r_{\max} の窓を動かしながら画素値の(平均値) - (標準偏差)を閾値に画像を二値化する。この画像がおおよそその主幹位置を示しているが、そのままではノイズも多いのでオープニング処理を繰り返し繰り返し検出位置の間隔が r_{\min} 以上を満たすようにする(図2)。

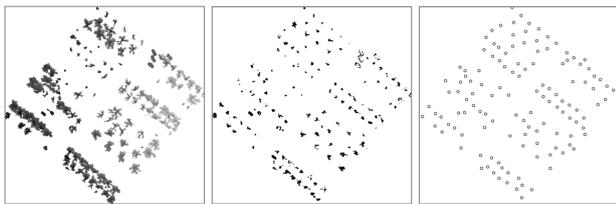


図2: 個体検出の様子。左から z 座標最小値を画素値にもつ画像, 二値化された画像, 検出された主幹の位置。

最後に点群を個体分割する。先ほど得た主幹位置を始点として点群を探索 ($k = 25$) してどの個体に属するか判断する。この時、各点の主成分分析 ($k = 50$) を行い第一主成分の分散が十分に大きいことを探索時の近傍の条件に加える。すると果樹の幹・枝に位置する点を選択的に探索できるので、根本から先端の枝までを辿りひとつの個体を探索できる。多くの場合はこれで個体を判別できるが、個体どうしが接近していると複数の始点からひとつの点へ到達可能な場合がある。圃場で計画的に栽培されている果樹を対象としているので、隣合う個体の樹形や大きさに極端な差はないと考え、そのような時は主幹位置からの最短経路長が短い方へ分類する。

4 実験と評価

具体的な圃場の点群データに提案手法を適用しその性能を評価する。使用するデータは岡山県赤磐市の県農業試験場で栽培されているモモの圃場で測定されたものである(図1 開始)。比較のため手作業による分割を正解データ(計116本)として用いる。実際に提案手法によって個体分割した結果が図1(個体分割)である。

点群の分割アルゴリズムの評価方法として先行研究[1, 2]で示された基準(評価パラメータ $T = 0.6$)を用いる。正解データのクラスタと比較して点群数が割合 T

表1: 評価結果

Cluster Based		Point Based			
class	size	Predicted			
correct	92	Actual	P	N	
over	1				9.8%
under	3		N	1.1%	88%
miss	17				
noise	28				

以上含んでいれば correct detection と見なすが、複数以上のクラスタに分割した場合は over-segmentation, 正解データの複数クラスタを少ないクラスタ数にしか分割できなかった場合は under-segmentation と識別する。それ以外でいずれのクラスタにも分割されなかった正解データは miss, 余計に分割されたクラスタは noise となる。評価結果は表1の通りで、クラスタ数に基づく精度は65.2%である。次に点群数に基づいて評価する。正解データ・推定された分割のうち木々のクラスタに属する点群を Positive, 地面などそれ以外の点群を Negative とすると表1の混同行列を得る。感度 $TP/(TP+FN) = 92.7\%$, 精度 $TP/(TP+FP) = 89.9\%$ である。

5 おわりに

本稿では果樹を対象とした三次元点群からの個体分割を樹形に基づくヒューリスティックな近傍モデルを用いて実現する手法を提案し、その分割精度を評価した。使用した個々の既存手法は単純だが、樹木の形という情報を上手く利用することで簡単な実装でも良好な結果が得られることが分かった。

謝辞

本研究は JST ERATO 川原万有情報網プロジェクト(JPMJER1501)の一環として実施されました。また本研究に使われたデータは中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究(IDEAS2018-1901)の助成を受けて収集したものです。

参考文献

- [1] A. Hoover *et al.*, "An experimental comparison of range image segmentation algorithms," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.18, no.7, pp.673-689, 1996.
- [2] C. Wang *et al.*, "An Improved DBSCAN Method for LiDAR Data Segmentation with Automatic Eps Estimation," *Sensors*, vol.19, no.1, pp.172-197, 2019.