

画像処理による果樹の体積計測のための基礎研究 ——果樹模型を用いた分枝構造再構築手法の開発——

The basic research for fruit tree volume measurement by image processing
—Development of 3D reconstruction method of branching structure by using fruit tree model—

Key words: Tree volume, 3D reconstruction, Image processing

フィールドロボティクス分野 阿波野 巧也

1. 緒言

現在、日本の農業は高齢化などの問題に直面しており、農業の省力化を達成することが不可欠である。従来手動で計測し、非常に時間と労力が費やされていた果樹樹木の体積測定を自動で測定することができれば、大きな省力化に繋がると考えられる。

先行研究として、Dassot¹⁾は森林中の樹木の体積を、レーザースキャナを用いて±30%の精度で測定している。しかし、レーザースキャナは高価であり、測定に要する時間も樹木一本あたり数時間がかかる。

そこで、レーザースキャナの代わりに複数の画像を用いて、3次元構造を再構築し、そこから体積を算出することで、コスト・労力・時間を抑えることが本研究の最終目的である。今回の研究では、実際の圃場の画像を使用する前に、模型を用いて分枝構造を再構築するプログラムを開発した。また、プログラミングソフトはMatlab(Mathworks, R2013a)を使用した。

2. 実験方法

2.1 果樹模型作成と画像取得

京大附属高槻農場で撮影したナシ果樹の画像をもとに、材木によって果樹模型を作成した。検出を容易にするため、模型を黒く着色した。その後、模型を45°ずつ回転させながら果樹模型の画像を取得した。図1に正面および45°回転の果樹模型画像を示す。



図1 果樹模型画像（左：正面，右：45°回転）

2.2 3次元再構築

取得した果樹模型画像にトリミング、グレースケール化、大津法による2値化、リサイズ(1/20)、白黒反転の前処理を行い、枝および幹の部分が白、背景が黒となった2値画像を得る。

正面、45°、90°、135°からの2値情報によって、3次元再構築を行う。正面と45°、正面と90°、正面と135°の3つの組合せによって3つの3次元再構築体を得て、それらの論理積をとることによって、4つの角度の情報を統合した3次元構築体を得る。

次に、ラベリング処理を用いて3次元再構築体の水平断面の連続性を考慮する。果樹において、下方に枝が存在しない部分からは突然枝が生えることはない、という仮定を用いる。3次元再構築体の連続する水平断面を取り出し、それぞれにラベリング処理を行う。上方の断面の1以上のラベルのうち、そのラベルのすべての座標において下方のラベルが0であるラベルを削除する。

3. 実験結果および考察

3.1 3次元再構築体の再現性

図2に、3次元再構築体の $x=20$ から $x=120$ まで高さを20ピクセルごとの水平断面を示す。また、3次元再構築体のサイズは $143 \times 188 \times 191$ であった。 $(x$ は鉛直下向き正)

x が大きくなり、分枝数が少ないときは正しく検出されているが、 x が小さくなり分枝数が大きくなると、細かく誤検出が起きた。これは、枝と枝との重なりが生じることによって、4枚の画像のみではそれを取り除き切れなかったことが原因であると考えられる。また、重なりが生じていない部分においても、1本の幹が3本に枝分かれして検出されているという誤検出が生じていた。これは、水平断面の連続性のみでは余分な誤検出を取り除ききることができないことを示していると言える。

また、図2真中上部の $x=40$ における水平断面において、画像中の真中左部分に細い枝が検出される

はずであったが、ここでは検出されなかった。これは枝が細すぎた、そして撮影時の角度回転やトリミングによってずれが生じ、論理積をとる際に重なりが生じず消えてしまったなどの原因が挙げられる。

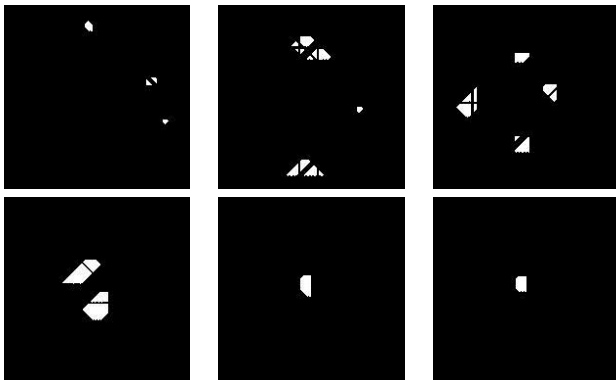


図2 3次元再構築体 (左上: $x=20$, 右下: $x=120$)

これらの誤検出および検出失敗を減らすためには、入力画像の枚数を増やすこと、画像の撮影およびトリミングをより正確に行うことが有効であると考えられる。

3.2 水平断面の連続性の考慮の有効性

図3に水平断面の連続性を考慮する前のラベル画像および、考慮した後のラベル画像 ($x=40,39$)を示す。

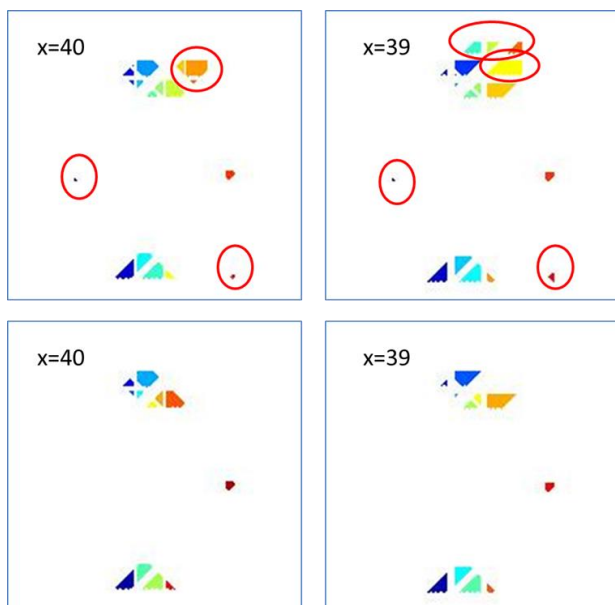


図3 $x=40, 39$ におけるラベル画像
(上: 連続性の考慮前, 下: 連続性の考慮後)

図3上段のラベル画像において、赤く丸で囲んだ部分が、水平断面の連続性の考慮によって消去された部分である。3次元構造体中の $x=1$ から $x=143$ ま

での水平断面において、水平断面の連続性を考慮することによって、合計111個の余分なオブジェクトを消去することができた。また、消去されるべきでないオブジェクトを消してしまったという例はなく、ラベリング処理によって水平断面の連続性を考慮することで、誤検出を十分に減らすことができたと言える。

4. 結言

4枚の果樹模型画像から3次元再構築を行うプログラムを開発した。正面と 45° 、正面と 90° 、正面と 135° の3つの3次元再構築体を得て、それらの論理積をとることで4方向の情報を統合した。下方に枝が検出されていない部分に突然検出されている枝を、ラベリング処理を用いた水平断面の考慮により取り除いた。

結果としては、細かい誤検出は存在するが、2回目の分枝までは枝ぶりを検出することができた。3回目の分枝以上になると、枝どうしの重なりが複雑になり、検出されなかった箇所が生じた。

細かい誤検出を減らすための方法としては、入力画像の枚数を増やすことや、さらに誤検出を減らすアルゴリズムを開発することなどが挙げられる。労力や処理時間をなるべく抑えながら、誤検出が少なくなるような入力画像の枚数やアルゴリズムを検討していくことが今後必要となるだろう。

また、本研究では3次元再構築のみを対象としたが、得られた3次元構造体から体積を算出するアルゴリズムの開発や、実際の圃場における果樹画像を撮影した際の画角の補正、そして果樹画像における果樹の検出アルゴリズムの開発なども今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) Dassot, M., Colin, A., Santanoise, P., Fournier, M., Constant, T., 2012. Terrestrial laser scanning for measuring the solid wood volume, including branches, of adult standing trees in the forest environment, *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 86-93
- 2) Chein, F.A., Guivant, J., 2014. SLAM-based incremental convex hull processing approach for treetop volume estimation, *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 19-30
- 3) Rovira-Más, F., Wang, Q., Zhang, Q., 2010. Design parameters for adjusting the visual of binocular stereo cameras, *Biosystems Engineering*, 105, 59-70