

三次元大規模点群に基づく樹木の形状再構成 第2報

電気通信大学 ○齋藤 和人, 丹羽 健, 増田 宏

Reconstruction of Tree Shapes from Point-Clouds

The University of Electro-Communications: Kazuto SAITO, Takeru NIWA, Hiroshi MASUDA

Recent years, reconstruction of tree shapes has been attracting attention in the field of forestry or computer graphics. But previous studies have some problem because of complexity of tree shapes. For example, with low-density data, the processing is robust and rapidly, but not very accurate. In addition, with high-density data, the processing takes an enormous amount of time. In this paper, we introduce a rapidly and accurately reconstruction method with large scale point-clouds scanned in Forest. The core of our method is slicing mesh with plane and getting outlines of cross-section.

Key words: Point-Cloud, Tree-Reconstruction, Forest-Management

1. 序論

森林や都市環境の樹木育成状況を詳細に把握するためには、樹木の位置や樹高、枝の本数や分布など多くのバイオマスパラメータを調査する必要がある。しかし人の手による直接的な計測は多くの手間と時間を要し、またしばしば破壊的であるなどの問題点がある。そのため近年では、地上型レーザースキャナを用いて森林内の点群データを作成し、そのデータを処理して各樹木のデータを抽出する手法に注目が集まっている[1]。

樹木のパラメータを取得するには、点群の集合から樹木の形状モデルを得る必要がある。ここでは正確なデータを得るため、できるだけ忠実にモデル化を行うことが求められる。

本研究では大規模な点群データから、森林内にある樹木の形状を、樹木の骨格に沿って配置された一般化円筒を用いてモデル化する手法を示す。前報では幹のモデル化について検討した[2]。本報では、前回適用した手法の評価とともに、枝形状の再構成手法について検討する。

本手法では、固定式レーザースキャナで取得した点群データを用いる。今回用いる点群データは研究用に植林されているヒノキ林で計測されたものである。1回のスキャンで得られる点の個数は約1億7000万点であるが、ここでは結果の精度向上のため、スキャン範囲が重なり合った6つの計測データを統合する。また、これらの点群データは計測時にグローバル座標への変換座標が既に算出されているため、本報では位置合わせの処理は行っていない。

2. 本手法の流れ

2.1. 幹のモデル化(前報)

前報では、幹のモデル化手法について示した。まず距離画像から生成したメッシュを等間隔な平面で切断することで、高さごとにエッジと切断面の交点を切断点として算出する。同様に複数のデータから切断点を算出して、同じ高さにある切断点を併合する。次にドローン分割によって切断点集合を構造化し、閾値より近傍にある頂点をグルーピングする。得られたグループごとに円弧フィッティングを行うことで、幹を構成する断面の候補とする。最後

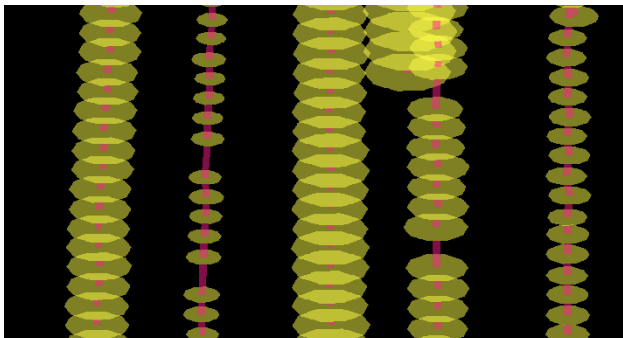


図1 モデル化された幹の拡大図

に、得られた各円弧に対して上下の切断面に存在する類似した円弧と互いに連結し、得られた連結成分のうち、含まれる断面の個数が閾値よりも多かったものを幹の骨格とみなして一般化円筒表現による幹のモデルを得る。得られた幹のモデル例を図1に示す。

2.2. 枝のモデル化(本報)

本報では、枝のモデル化手法を提案する。まず枝の候補となる点群を抽出した後、距離画像から得た連結領域ごとに主成分方向を取得する。次に、得られた主成分パラメータを利用して連結成分を分類し、構成する点群を幹の場合と同様に切断する。ここで得られた切断線より断面の形状を推定することによって枝の部分的なモデルを算出する。

3. 幹のモデル化手法の評価

まず、前報で報告した幹抽出手法により、どの程度の幹が検出されたかを評価したので、その結果を示す。抽出対象としたのは、6回の計測において、スキャナ原点から10m以内にある樹木の幹である。実際の樹木数は、点群データより目視で確認した。

切断面の間隔を変更したときに、幹の認識率と処理時間がどのように変化するかを表1に示した。切断面の幅を狭めるほど樹木の認識率は向上し、処理時間も十分実用的な範囲で増加していることが確認できる。

一方、認識できなかった樹木は、断面形状が歪んだ円であった

表1 幹検出数の評価

切断幅	検出樹木数(本)	目視樹木数(本)	認識率	処理時間
2.5cm	180	182	98.9%	1m38s
5cm	174	182	95.6%	1m08s
10cm	167	182	91.7%	0m51s
20cm	150	182	82.4%	0m43s



図2 領域分割された樹木

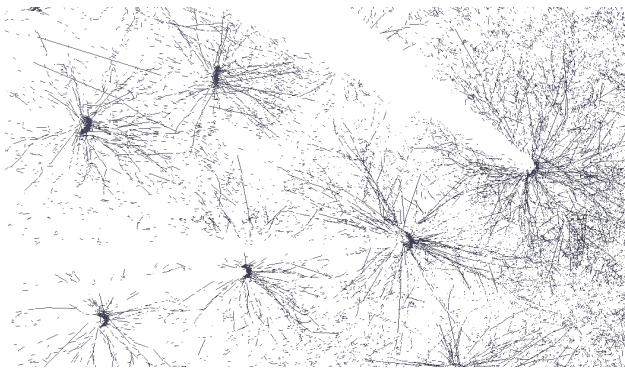


図3 各領域の主成分方向

ために、円弧で形状を近似できなかつたものと考えられる。また枝や葉によるオクルージョンにより、高所にある幹の形状を計測できない場合があった。

4. 枝形状の再構成

4.1. 枝を構成する点群の抽出

前報において得られた幹のモデルを用いて、幹を構成する点群を除外する。一般化円筒形式で表現された幹の骨格から距離 d 以内にある点を幹に属するものとし、幹に属せず、かつ地面の構成点群でない点を枝成分として抽出する。ここでは表面のノイズを考慮し、 d を幹の半径の 1.2 倍とした。

4.2. 領域成長法による連結領域の分割

幹成分が除外されたデータから、レーザー光の照射角度における方位角と仰角 (θ, φ) を用いて二次元の距離画像を生成する。ここで各点の 4 近傍の点のそれぞれに対して距離 R を計算し、式(1)を満たす時、2 点は同じ連結領域に属するものとみなす。

$$kL\Delta\theta > R \quad (1)$$

ここで L はスキャン原点からの距離、 $\Delta\theta$ は隣接点間におけるレーザー光のサンプリング角度である。また k は定数で、ここでは 3 とした。従って、これらの条件で領域成長法を適用し、領域ごとに色分けした 2 次元画像を図 2 に示す。

4.3. 領域のもつ骨格の分類

前項で得られた領域を次の 3 通りに分類する。

- A) 枝の一部分を構成する直線的な領域
- B) 複数の枝を含む領域
- C) 枝の一部分を構成する直線的でない領域

このうち、1 本の一般化円筒によって骨格を得られるのは A の形状である。B と C の形状については、分割あるいは統合によって A の形状に変換する必要がある。模式図を図 4 に示す。

本研究では、各領域に対する主成分分析によって枝の分類を推定する。分割された領域に対して主成分分析を施し、主成分方向と固有値を算出する。主成分分析によって枝の大まかな形状が得られることを示すため、各領域における主成分方向を水平面に投影した例を図 3 に示す。

次に、式(2)の与える結果より領域全体の形状を推定する。

$$s_1 = \lambda_1/\lambda_2, s_2 = \lambda_2/\lambda_3 \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ は主成分分析における固有値である。 s_1 が閾値より大きい領域を直線の形状、そうでないものうち s_2 が閾値より大きい領域を平面的形状、どちらもでない領域を複雑形状とする。今回はそのうち直線的な傾向をもつ領域を直線的領域とみなし、その場合の枝の再構成手法について検討する。ここでは s_1 の閾値を 3 とした。

4.4. 3 次多項式近似による軸推定

前項で算出された各領域に対する主成分方向と重心を利用して、3 次多項式近似による軸推定を行う。まず各領域の点を、重心を原点、主成分方向を軸とした座標系で表現する。本研究では、第

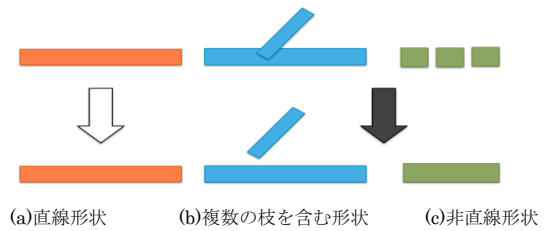


図4 骨格の分類と処理

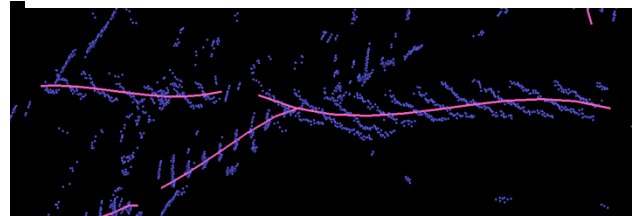


図5 多公式近似による軸の推定

1 主成分方向の成分 t を媒介変数、第 2 主成分方向の成分 u 、第 3 主成分方向の成分 v を従属変数とした媒介変数表示 $u = f(t)$ 、 $v = g(t)$ により軸の曲線を表現する。本報では、 $f(t), g(t)$ は 3 次多項式とする。 $f(t), g(t)$ の係数は、各点の座標を用いた最小二乗法によって算出する。推定された軸と点群をプロットした例を図 5 に示す。

4.5. 半径推定

前項で示した座標系において、 t を媒介変数、 r を従属変数とした媒介変数 $r = h(t)$ によって半径を表現する。 $h(t)$ は 3 次多項式とする。本報では $h(t)$ の係数を最小二乗法によって計算するため、ある t に対する半径 r の推定値を少なくとも 4 組推定する必要がある。本報では、RANSAC 法による半径推定と、軸からの距離を利用した半径推定の二つの手法を検討する。

4.5.1. RANSAC 法による半径推定

領域は距離画像上の隣接関係を持っているため、メッシュに変換できることを利用する。まず各領域から生成したメッシュを、 t 軸と垂直で、等間隔に配置された複数の平面で切断し、切断面の点群を得る。次に、切断面ごとに得られた切断点に対してドロネ分割を適用して、連結領域を抽出してから RANSAC 法を適用し、各平面における半径を推定する。

断面の切断点が十分にある場合は、断面に欠落があっても正しい半径を推測できる。しかし、細い枝や点群密度の小さい枝の場合は計算に用いる切断点が少なくなるため、円弧の検出が困難になる場合がある。

4.5.2. 軸からの距離を利用した半径

領域に含まれる各点について、推定された曲線との距離を算出する。また、軸の曲線を t の範囲によって適当な数の区間に区切り、各区間における平均距離を、その区間の中央値 t_i における半径とする。RANSAC 法による推定とは異なり、点群数が少ない場合でも半径値を算出可能である。

5. まとめ

本報では、森林の大規模点群データから、連結領域の主成分を計算することによって局所的な枝の方向を推定した。また、2 種類の円弧検出手法を比較し、各手法の利点と問題点を評価した。今後はこれらの手法で得られた円弧から、枝全体の形状を一般化円筒形式によってモデル化する予定である。

6. 参考文献

- [1] 加藤 他, レーザーリモートセンシングの森林生態学への応用, 日林誌, 96 (2014) 161-181.
- [2] 齋藤 和人, 丹羽 健, 増田 宏: 三次元計測点群に基づく樹木の形状再構成, 精密工学会秋季講演会 2015