

# 三次元大規模点群に基づく樹木の形状再構成

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

For monitoring the growth of trees in forests, many attributes have to be investigated. However, it is very hard to repeatedly quantitatively measure a huge number of trees. Laser scanning technology is promising to support measuring the parameters of trees. In this research, we discuss methods to generate 3D models of trees from point-clouds. Many studies have been done for extracting cylindrical poles from point-clouds, but trees are not smooth cylinders and they have many branches and leaf with trunks. Therefore, we consider a recursive section-based method for extracting trunks and branches.

**Key words:** Point-Cloud, Tree Reconstruction, Forest management

### 1. 序論

森林内の樹木育成状況を詳細に把握するためには、樹木の表面性状や樹高、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、統計処理が可能な個数の樹木を手手で調査するのは非常に多くの時間を要する。そのため近年では、地上型レーザ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ことが検討されている [1]。

その際、樹木ごとに点群をセグメンテーションし、形状モデルを作成する必要がある。これまでに、点群から柱状物体を抽出する手法が多く提案されてきた。そうした手法は、垂直に近い幹の検出するに用いることができる。しかしながら、樹木では幹が必ずしも垂直な円柱になっているとは限らず、また育成状況の把握には、枝を含めた樹木全体の抽出が必要となる。そのため、樹木モデリングでは、樹木の構造を抽出し、その形状をできるだけ忠実に再構成することが求められる。

本研究では大規模な点群データから森林内の樹木を抽出する手法を示し、それぞれの幹や枝を含めた樹木形状の再構成を行う手法について検討を行う。

### 2. 手法の概要

本手法では、固定式レーザスキャナで取得した点群データを用いる。今回用いた点群データはヒノキ林のもので、1回のス

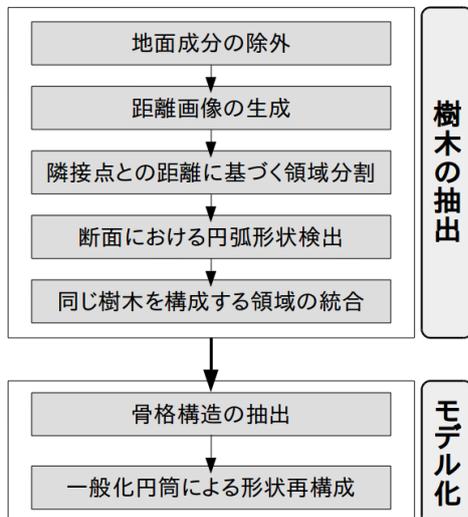


図1 処理の概要

キャンで得られる点の個数は約1億7000万点である。

全体の処理のフローチャートを図1に示す。まずデータ内の点から地表を除去する。ここでは処理を高速化するため、点群データを距離画像として扱う。次に、大規模環境点群を限られたメモリで処理するために、点群を連結な領域に分割した後、個々の連結成分をメッシュモデルに変換する。次に、メッシュモデルを平面で切断した切断線を算出する。本研究では、切断線集合を用いて、樹木の骨格構造を算出し、樹木形状を再構成することを考える。

### 3. 点群データからの樹木のセグメンテーション

#### 3.1 RANSAC法を用いた地面構成点の除去

まず、前処理として、RANSAC法による地面成分の除外を行う。ここでは、同一平面上か判定する閾値を10cmとして平面を求め、その平面から20cm以内にある点を、地面を構成する点として除外した。森林内では地面の凹凸が激しく、樹木抽出の際にノイズとなる雑草も生えているため、閾値を大きく設定した。

#### 3.2 距離画像を用いた連結領域の分割

地面成分が除外されたデータから、レーザ光の照射角度における方位角と仰角 ( $\theta$ ,  $\phi$ )を用いて二次元の距離画像を生成する。次に、連結領域を算出するために、距離画像上の隣接点の接続性を計算する。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点は同じ領域にあるとみなした。

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

ここで  $L$  はスキャナ原点からの位置、 $\Delta\theta$  はレーザ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。この操作を距離画像全体に適用することで、連結領域の集合を生成する。連結領域を構成する点の個数が閾値以下であれば、葉や地面から生えた草などによるノイズとして除去する。ここでは

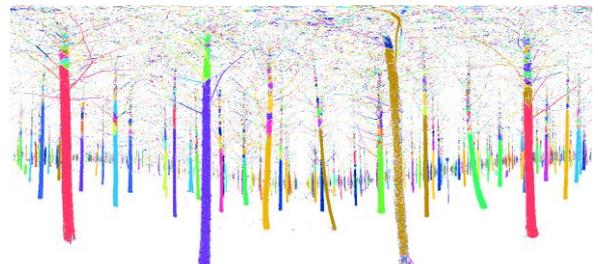


図2 領域分割された点群

閾値を100ピクセルとした。微小領域を除去し、領域ごとに色分けした2次元画像を図2に示す。

### 3.3 メッシュによる樹木の切断線の取得

領域分割された点群は、メッシュモデルに変換することができる。ここでは点群データによって2次元の距離画像が生成されているため、その隣接関係を用いて面を構成する。樹木のメッシュ表面は、ノイズが大きいため、ここでは Taubin フィルタを用いて平滑化を行う。生成された樹木表面のメッシュモデルの例を図3に示す。

次に、生成されたメッシュモデルを平面で切断し、切断線を生成する。平面は、高さを変えながら一定間隔で切断を繰り返す。ここでは切断面の間隔を5cmとした。全ての連結成分に対して、切断線を生成すると、図4に示すような森林の切断線の集合が取得できる。

### 3.4 幹の検出

次に、森林の切断線集合から、幹を検出する。幹の切断線は、円弧で近似できる。しかしながら、樹木表面は滑らかではないため、切断線は必ずしも連続しないという問題がある。図5は、枝によって多数の領域に分断された幹を示している。このような場合には、分断された切断線を結合する必要がある。

本研究では、切断線を構成する点に対してドローン分割を同一の切断面上にある切断線に適用し、閾値より近傍にある頂点があれば、その切断線を同一グループとする。また、これらに対して頂点数の閾値を設け、枝のものと考えられる小さいグループを除去し、幹を構成する切断線の候補を抽出する(図6(a))。ここでは頂点距離の閾値を3cmとした。

次に、同一のグループの点群から、RANSAC法を適用して円弧検出を行う。この操作をすべての切断面に対して行って得られた円弧を図5(b)に示す。

幹を検出するには、幹を構成する円弧形状を検出する必要がある。 $N$ 個の連続する切断面に存在する円弧の中心を水平面上に投影し、円弧の中心点と半径の差が閾値以内である切断線を、同一樹木の切断面としてグループ化する。今回の例では $N=2$ とした。これをすべての切断線に対して繰り返すことによって、幹の検出ができる。



図3 樹木のメッシュモデル



図4 森林の切断線

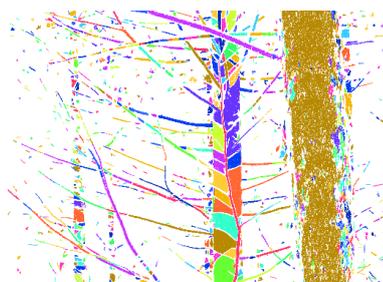
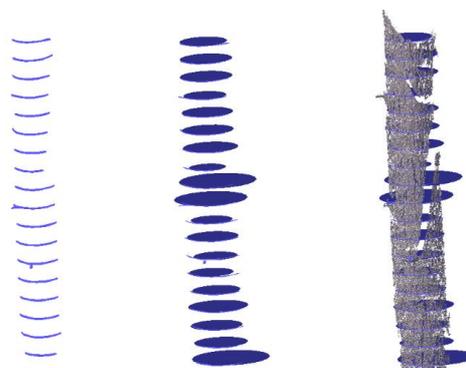


図5 オクルージョンにより分断された樹木



(a)切断線 (b)円弧形状 (c)元のメッシュ形状

図6 円弧抽出による幹の検出

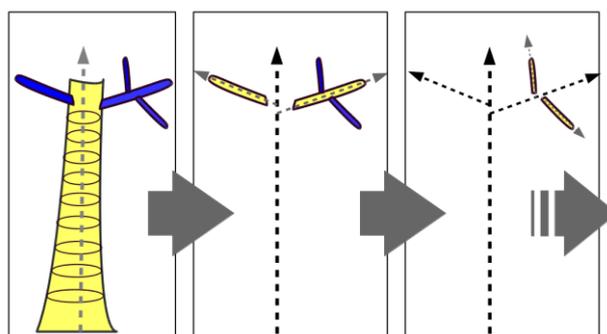


図7 主成分分析による枝成分の再帰的検出

## 4. 枝の検出

樹木の点群において幹を検出し、図2の連結成分からその領域を除去すれば、枝を構成する点群の連結成分が得られると考えられる。図6(c)は、検出された幹の部分の点群を示している。

枝の検出においては、図7に示す通り、幹から分離された連結領域ごとに主成分分析を施し、得られた第一主成分方向を法線とする切断面を用いて、幹の場合と同様に切断線を生成してグループ化を行う。枝についても分岐があるため、幹と同様の手法で枝を検出してその領域を除外し、その枝の子となる枝を再帰的に検出することを考えている。

## 5. まとめ

本研究では、森林の大規模展群データから近傍点の接続により個々の樹木を抽出する手法を示した。さらに抽出された単一の樹木のデータから、樹木の幹の骨格を抽出し、同様に枝を検出する手法を検討した。本研究では、同じ箇所から取得された点群のみを扱っているが、切断線を検出して、その併合を行っていけば、複数点群にも適用可能である。幹と枝の検出についての評価は今後行っていく予定である。

## 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.