

三次元大規模点群に基づく樹木の形状再構成 第3報

電気通信大学 〇齋藤 和人, 増田 宏 森林総合研究所 平岡 裕一郎, 松下 通也, 高橋 誠

Reconstruction of Tree Shapes from Point-Clouds

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

Forestry and Forest Products Research Institute: Yuichiro HIRAOKA, Michinari MATSUSHITA, Makoto TAKAHASHI

3D-shape models based on real trees are useful for the simulation and surveys of forest resources. For example, the chronological shape acquisition of trees is important for biological analysis of forests. However, it has been a difficult problem to analyze a large number of trees in forests in a reasonable time. In our previous research, we discuss methods to reconstruct trunks and branches from point-clouds. In this paper, we discuss methods for reconstructing entire tree models with connected branches by using the minimum spanning tree. We also discuss methods to eliminate leaves from a point-cloud using reflection intensity of laser pulses. Finally, we compare reconstructed tree models to actual measured values of breast high diameters and tree heights.

Key words: Point-Cloud, Point Processing, Terrestrial Laser Scanner, Tree Modeling, Forest Reconstruction, Forest Management

1. 序論

森林に存在する樹木の育成状況を詳細に把握するためには、樹木に関する多くのバイオマスパラメータを調査する必要がある。特に樹高や幹の胸高直径、幹曲がりに関するパラメータは、材木にした際の価値に大きく寄与するため、とりわけ重要である。しかし、森林内のすべての木に対し人の手で計測を行った場合、手間と時間を必要とし、さらに高所部分の正確な計測にはしばしば伐採を必要とするため、破壊的である。そのため近年では、レーザスキャナを用いて森林内部の三次元点群データを非破壊的に作成し、計算機処理によって各樹木のパラメータを抽出する手法に注目が集まっている。

本研究の目的は、地上型レーザスキャナによって得られた森林の大規模な点群データを、各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し、モデルから樹木のパラメータを抽出することである。

第1報では、距離画像上の隣接関係に基づいて生成したワイヤフレームを等間隔な水平面で切断することにより幹の断面形状を推定し、これを連結することによって幹の一般化円筒モデルを高速に得る手法について示した[1]。第2報では、距離画像上の連結成分を枝の局所形状とみなし、直線的な形状を取り出して曲線近似することで枝の軸を得る手法について示した[2]。

一方で、これまでの研究では、樹木の検出数について検証を行ったものの、再構成された各モデルの精度についての検証は行っていない。また、枝の検出については、葉を除去する方法が適切でなかったため、葉を枝と誤認識することで誤ったモデルが生成された例が多くみられた。また個々の枝の接続関係を推定していなかったため、再構成は部分的なモデルにとどまっていた。

本報ではこれらの問題について考え、樹木モデリングの品質を向上させる方法を示す。まず、枝と葉の反射強度の違いに着目して葉を分離する方法を示し、それにより枝検出の信頼性が向上することを示す。次に、すでに得られている幹や枝の局所形状をノードとした最小全域木を構成することにより骨格構造を推定し、樹木全体をモデル化する手法について示す。また、これまでに点群から生成した幹のモデルと手動で計測したデータとの比較を行い、本手法によるモデル化の精度が妥当であるか評価を行う。

2. 点群からの葉成分の分離

樹木の葉の点群は、枝検出において誤検出の大きな要因となっている。これまでの手法では、連結成分の大きさや主成分分析によって葉の推定をおこない、それらの点群を除去していたが、枝の点を誤って除去することも多かった。また、葉そのものを枝として誤認識することもあった。

そこで、本報では点群の持つ反射強度を利用し、枝と葉の点群を分離することを考える。

ここでは幹や枝のモデル化を行う前に、反射強度のヒストグラ

ムを用いて枝や葉の分布する反射強度の範囲を特定し、適切な閾値を求めて葉の点群を除去することを考える。ここで用いたデータは、地上型レーザスキャナ HDS7000 (Leica-Geosystems)を用いて、マツ林の計測を行ったものである。

まず点群の反射強度を、256 階調の濃淡に対応させた画像を図1に示す。この図から、手動トリミングにより葉と幹の個別領域を抽出し、反射強度分布をヒストグラムで示したものを図2に示す。ここでは各画像のピクセル数が異なるため、各値のピクセル数を全ピクセル数で割った相対度数(%)によって表示している。

このグラフから、葉と幹・枝とは、反射強度がおおむね分離していることがわかる。葉は反射強度が0~40周辺に集中しているのに対し、幹の反射強度は30~170付近に分布している。

ここでは反射強度値が30以下の点群を葉成分として除去した。図3に、葉成分と判定された点群を除去した例を示す。この例に示すように、反射強度を用いることで、枝の部分が明瞭に抽出できていることがわかる。



図1 反射強度画像

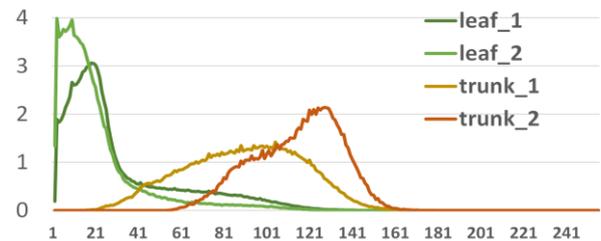
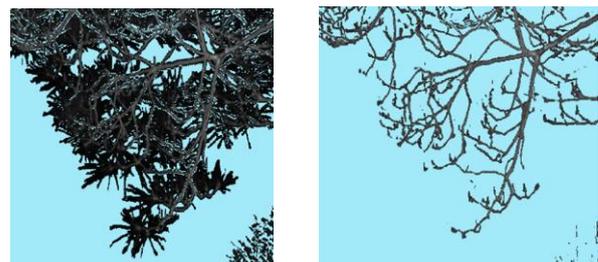


図2 反射強度のヒストグラム (%)



(a) 除去前

(b) 除去後

図3 葉の除去結果

3. 最小全域木による樹木骨格の再構成

Libny ら[3]は最小全域木とグラフカット手法を用いて、疎な点群からロバストに樹木の骨格を抽出する手法を示したが、大規模な点群では処理時間を多く要するという問題があった。本手法では、前報までの手法で検出された幹と枝の部分モデルに関して、最小全域木で接続したグラフを樹木の骨格とすることを考える。

まず、幹ごとに連結グラフ $G(V, E, w_e)$ を生成する。ここで、 V は頂点集合、 E は辺集合、 w_e は辺の重みである。最小全域木では、すべての頂点を通り、重みの和が最小となる辺集合が算出される。

まず、幹モデルをグラフに追加する。頂点集合 V には、幹の検出において算出された各断面上の円弧の中心点を追加する。幹モデル内で隣接した円弧の中心は最終的な樹木モデルでも接続されている必要があるため、重み0の辺で接続する。

次に、枝モデルをグラフに追加する。まず、枝モデルの二つの端点を V に追加し、重み0の辺で接続する。

最後に、グラフの頂点間に、候補となる辺を挿入する。このとき、辺の重み w_e は辺の長さとする。また、枝と幹を連結する際は、各枝に関して、最も近い距離にある幹とのみ連結するものとする。頂点の連結には、kd-treeを用いて近傍の頂点を探索し、2点間の距離が閾値以下のときに辺を挿入する。本研究では、この閾値を20cmに設定した。

ここで枝モデルが長すぎる場合、図4の左に示すように、長い辺の途中に存在するはずの分岐点を、誤った位置に接続してしまう場合がある。そこで、図4に示すように、点間距離が閾値より小さくなるように枝モデルを分割し、新たな頂点を挿入する。ここでは閾値を10cmとした。

以上の処理を行って得られた連結グラフ G に対して、最小全域木を算出する。最小全域木の算出にはプリム法を用いた。実際に得られたモデルの一部を図5に示す。黒が点群、ピンクで示した辺集合が最小全域木によって得られた樹木の骨格である。

4. 実測値との比較

4.1. 胸高直径

胸高直径(Diameter at Breast Height, DBH)とは、地面からの

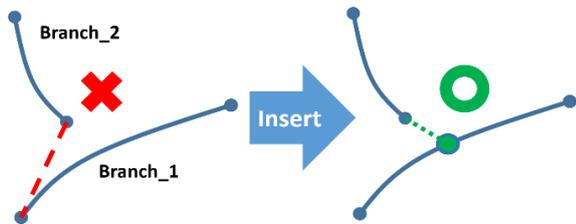


図4 頂点の挿入



図5 最小全域木により推定した骨格例(紫)

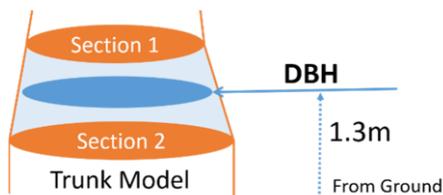


図6 胸高直径(DBH)の推定

高さが1.3mの地点における幹の直径である。本研究では幹モデルが連続した円弧により表現されているため、図6に示すように、各幹モデルについて1.3m地点の上下にある円弧を底面とする円錐台を考え、円錐台の1.3m地点における直径を胸高直径とした。

比較対象となる実測では、輪尺を用い、1.3m地点における直径の最大値と、最大値点と直行する方向の直径を平均し、胸高直径とした。今回はスギ林の5箇所で計測した点群データを用いて26本のサンプルについて測定・比較を行った。結果を図7に示す。この評価実験では、平均誤差は $\pm 4.9\text{mm}$ であり、樹木計測において十分な精度で計測できていることがわかった。

4.2. 樹高

樹高の実測にはVERTEXIII(ハグロフ社)を用いた。また、本研究で算出した樹木モデルから樹高を算出するために、Digital Surface Model(DSM)を用いる。まず、DSMの正方形グリッド上に存在する点群のうち、最も高い点の z 値を各グリッドの高さとして記録する。次に、各幹モデルの根元がどのグリッドに属するかを判定し、そのグリッドを樹頂点グリッドとする。隣接するグリッドと最高点を比較し、隣接グリッドが自身より高い最高点を持っていた場合、隣接グリッドに樹頂点を移動する。樹頂点が移動できなくなるまでこの操作を繰り返すことで、樹木の最高点を推定する。ここではグリッドの一辺の長さを0.5mとした。図8に、胸高直径と同じサンプルに対して実測値と比較した結果を示した。このとき平均誤差は $\pm 0.5\text{m}$ であった、この値についても、実用上、十分な精度である。

5. 結論

本報では、反射強度を利用して点群データの葉成分を分離する手法と、樹木全体の骨格を最小全域木によって求める手法について考察した。また、実際に得られた幹モデルと実測値との比較を行った。胸高直径と樹高については、十分な精度で測定が可能であることが分かった。

一方、樹木の骨格モデルの算出において、辺が長い場合には頂点を挿入する操作を行ったが、重み w_e に辺の長さをそのまま用いたために、不自然な接続になった部分が少なくなかった。今後の課題として、木の性質を考慮した重み関数を与え、より正しい形状に近い骨格モデルを生成することが挙げられる。

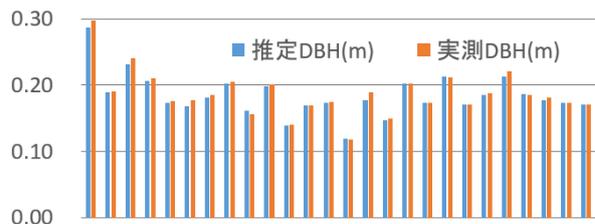


図7 胸高直径(DBH)の計測値比較

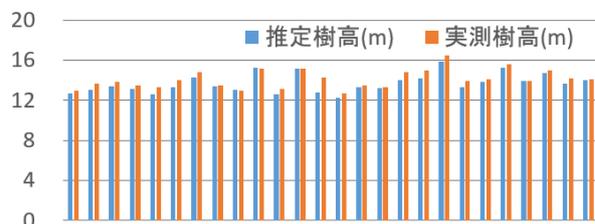


図8 樹高の計測値比較

参考文献

- [1] 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
- [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 第2報, 精密工学会春季講演会 2016
- [3] Livny, Yotam, et al. "Automatic reconstruction of tree skeletal structures from point clouds." ACM Transactions on Graphics (TOG) 29.6 (2010): 151.