

TLS 点群を用いた樹木形質の抽出と評価 (第 2 報)

電気通信大学 ○江藤 信輔, 増田 宏

1. 序論

レーザスキャナを用いた点群処理技術は, その効率性などから, 近年様々な分野において非常に注目をされている。

森林研究において, 樹木の持つ遺伝子とその形質における関係性の把握は重要な課題であるが, そのためには樹木の遺伝子データとそれに対応する樹木の形質データが大量に必要となる。従来, 樹木形質データの計測は手動により行われてきたが, 手動による計測には, 膨大な時間と多大なコストを要することや, 計測に特定の技術が必要なこと, 計測ごとに形質評価に差異が生じてしまうことといった問題があった。そこで, これらの問題を解決するために, 地上型レーザスキャナ(TLS)で取得した 3 次元点群を用いて樹木の形質パラメータを算出することを考える。

本研究では, 森林を高密度に計測した点群データから, 森林のバイオマスを推定する方法について検討する。バイオマス計算では, まず樹幹の断面積について高精度な計算を行い, その断面積の値を用いて体積を計算することにより, 正確かつ効率的なバイオマス計算手法を提案する。さらに, それらの値について, 実計測のデータとの比較により定量的な評価を行うことで, 手法の有効性についての評価を行う。

2. 幹の断面点の取得

我々はこれまでの研究で, 大規模点群から幹を検出する手法を開発した[1]。本研究では, その手法を用いて樹木の位置を特定するとともに, その過程で得ることのできる樹幹の断面点を用いて, 樹幹の断面積と体積を正確に計算する手法について検討する。

幹の検出手順は, 図 1 に示す通りである。まず点群から地面の Z 座標を推定し, その付近の点を地面点として除去をする(図 1(a))。地面点が除去された点群に対して, 隣接点をエッジで接続したワイヤフレームモデルを作成し, ワイヤフレームモデルを等間隔な水平面で切断して切断点を取得する(図 1(b))。その切断点の集合から円もしくは楕円として近似できるものを幹の断面候補として検出する(図 1(c))。断面候補が高さ方向に連続して得られれば, それを幹とみなして抽出する(図 1(d))。

本稿では, 得られた幹の断面点集合から幹の断面積および体積の計算を行う。

3. 断面積と体積の計算

3.1. 断面のモデル化

本研究ではまずはじめに, 幹の断面点から多角形による近似を用いて幹の断面形状のモデル化を行う。切断点は, ノイズが多いため, 平滑化を行う。平滑化では, 図 2(b) のように, 重心を中心として, 一定の角度ごとに領域を分割し, 各領域内での中心からの距離の平均を求める。求めた値をその角度領域における半径とし, 領域ごとに算出した点を連結することにより多角形に近似する。

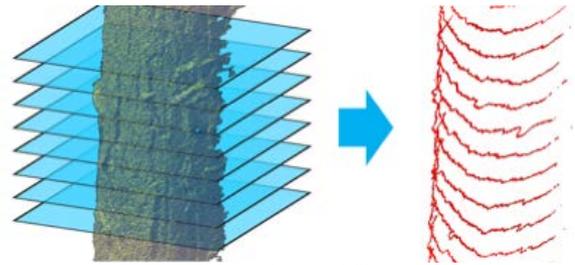
ここで問題となるのは, 点群密度である。森林での点群計測では, 遠方の樹木も計測されるため, 高い点群密度は得られない。また, 上方では幹が細くなるため, 断面形状の点の個数は少なくなる。その場合には, 図 2(b) の角度を大きく取り, 多角形の頂点数を少なくすることが必要となる。

3.2. 断面モデルの補間

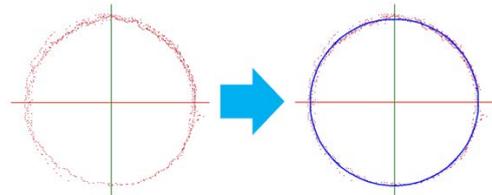
多角形で近似した場合の面積は, 実際の幹の断面積よりも小さくなってしまいう問題があるため, 多角形モデルの補間を行



(a) 地面点の除去



(b) 切断面の取得

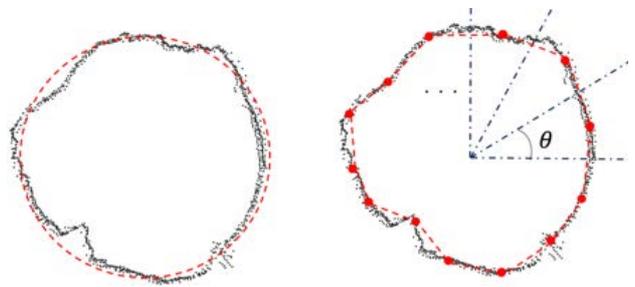


(c) 幹断面の検出



(d) 幹の検出

図 1 幹の検出手順



(a) 円による近似

(b) 多角形による近似

図 2 断面の多角形近似

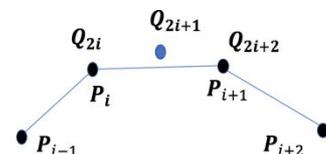


図 3 補間点の生成

うことを考える。点群の補間には多くの方法が考えられるが、ここでは、単純に、図3に示すように、重み付き和によって補間点を算出する方法を用いる。この方法では、多角形モデルの頂点 P_i ($i = 1, 2, \dots, n$) から、以下の式(1)を使用して補間後のモデルの頂点 Q_i ($i = 1, 2, \dots, 2n$) を求める。この操作を繰り返すことで、多角形モデルを滑らかなスプライン曲線を生成できる。

$$\begin{cases} Q_{2i} = P_i \\ Q_{2i+1} = \frac{-1}{16}P_{i-1} + \frac{9}{16}P_i + \frac{9}{16}P_{i+1} + \frac{-1}{16}P_{i+2} \end{cases} \quad (1)$$

3.3. 幹の体積の計算

幹の体積は、幹の断面積の値を使用して計算を行う。間隔 h で配置された n 個の水平面により断面が計算され、計算された断面積の値が S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) であるとき、幹の体積 V は以下の式(2)を用いて計算することができる。

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{h}{3} (S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}) \quad (2)$$

水平面の間隔を小さくしセクションの数を増やすにつれて、体積計算の精度は向上する。本研究では、水平面の間隔 $h = 5$ cmとして計算を行った。

4. 計算結果

4.1. 断面積の計算

まずはじめに、断面モデルの補間前後における断面積計算の精度向上についての評価を行う。図4に示す二つの断面に対して、9角形、18角形、36角形の多角形モデルへ近似を行った後、式(1)を用いて滑らかな曲面へと変換した。

表1に、補間前後での面積の計算結果を示す。この結果では、多角形モデルの面積は実際の面積よりも小さく、頂点数が少ない場合には、ずれが大きくなり、9角形で近似した場合には、面積は約20%小さくなる。一方、点群補間した場合には、頂点数による差は小さくなり、9角形近似した場合でも、実用上問題ない精度での面積計算が行えた。

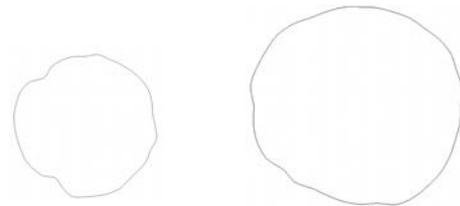
次に、計算した断面積と手動により測定した断面積の比較をすることにより計算値の評価を行う。評価のために、我々は樹木に対してレーザスキャナによる測定を行った後、その樹木を伐倒し、幹を1mごとに切断することにより、手動による計測を行った。

表2に、3つの樹木の胸高における断面積を示す。ここから、どの樹木も、3%程度の誤差で断面積が計算出来ていることが確認できる。

4.2. 体積の計算

計算した幹の断面積と式(2)を用いて、幹の体積の計算を行った。その結果を表3に示す。ここで、樹木A,Bにおいては良好な精度での計算に成功しているが、樹木Cにおいて、比較的大きな誤差が確認できる。これは、レーザスキャナによる樹木計測の際、若干の風が存在していたため、幹が細い樹木Cにおいて、スキャン中に幹が揺れてしまったことが原因と考えられる。

誤差の発生原因をより明確にするために、表4に、樹木Cにおける一定範囲の高さ内での体積計算の結果を示す。ここから、地面からの高さが高くなるにつれて、体積計算における誤差が大きくなっていることが確認できる。これは、幹の上部に近づくほど風の影響を強く受けて幹が揺れ、スキャンで得られる点群が実際の幹よりも広範囲に分布してしまっているためであると考えられる。



(a) 断面 A (b) 断面 B

図4 補間検証に使用する断面

表1 断面モデル補間前後の断面積計算

	断面モデル	断面積 (cm ²)		
		n = 9	n = 18	n = 36
断面 A	n 角形 (補間前)	230.4 (-19.3%)	264.4 (-7.4%)	275.9 (-3.4%)
	補間後	280.0 (-1.9%)	285.6 (0.0%)	285.6 (0.0%)
断面 B	n 角形 (補間前)	739.2 (-18.8%)	838.9 (-7.9%)	881.9 (-3.2%)
	補間後	899.6 (-1.2%)	905.0 (-0.6%)	910.9 (0.0%)

表2 胸高における断面積計算

	断面積 (cm ²)		誤差
	計算	手計測	
樹木 A	280.3	285.1	-1.7 %
樹木 B	930.5	909.4	+2.3 %
樹木 C	219.5	226.7	+3.3 %

表3 幹の体積計算

	体積 (m ³)		誤差
	計算	手計測	
樹木 A	0.0169	0.0165	+2.4 %
樹木 B	0.0681	0.0662	+2.7 %
樹木 C	0.0145	0.0130	+10.1 %

表4 各高さにおける幹の体積計算 (樹木 C)

地面からの高さ	体積 (m ³)		誤差
	計算	手計測	
0-1m	0.00220	0.00213	+3.3 %
1-2m	0.00206	0.00199	+3.3 %
2-3m	0.00188	0.00179	+5.3 %
3-4m	0.00178	0.00168	+5.5 %
4-5m	0.00171	0.00160	+6.9 %
5-6m	0.00165	0.00144	+14.0 %
6-7m	0.00159	0.00126	+26.5 %
7-8m	0.00160	0.00111	+44.3 %

5. 結言

本研究では、樹幹の断面積と体積を正確かつ効率的に計算する手法を提案した。樹木の断面点を取得した後、その断面点を用いて多角形モデルにより断面の近似を行った。そのモデルに対して細分割スキームにより補間を行い、正確な断面積の計算を行った。また、計算した断面積を用いて、樹幹の体積の計算を行った。

手計測の値と比較して良い精度での計算に成功したが、一部の幹が細い樹木に対しては比較的大きな誤差が発生した。風揺れしている樹木においては断面が歪むため、風揺れしている場合を検出し、補正する方法を考える必要がある。

参考文献

[1] 齋藤 和人, 増田 宏: 三次元点群に基づく樹木の形状再構成第3報, 精密工学会秋季講演会 2016