

平成30年6月20日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18765

研究課題名(和文) 多種多様な遠隔精密センサデータの総合的分析に基づく地上森林資源調査技術の開発

研究課題名(英文) Forest Investigation by Comprehensive Analysis of a Variety of Remote Sensing Data

研究代表者

溝口 知広 (MIZOGUCHI, Tomohiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：30547831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地上型レーザスキャナにて取得した点群より、深層学習を用いて樹種を自動判別可能な技術の開発を行った。開発技術では、個々の樹木の点群を入力とし、まず胸高付近の点群を抽出し、点群に含まれる枝葉をRANSAC法にて除外する。その後、3次曲面の当てはめや曲率計算に基づき樹皮形状を明確に表す画像を作成し、これを深層学習に利用することで判別を行う。スギとヒノキを対象とした様々な実験より、計測地点から水平距離が15m以内の樹木に対して、本手法により90%を超える高い精度で判別が可能であることを証明した。

研究成果の概要(英文)：We developed the method for automatic classification of individual tree species from laser scanned point cloud using deep learning. In our method, given a point cloud of an individual tree, point subset at breast height is selected, and then branches and leaves are removed by RANSAC-based circle fitting. Next the images are created which clearly represents bark texture using bi-cubic surface fitting or curvature estimation. These images are finally used in deep learning for species classification. From various experiments using point clouds of Japanese cedar and cypress trees within 15 meters from the scanned position, our method achieved high classification performance over 90%.

研究分野：デジタル形状処理

キーワード：森林調査 樹種判別 地上型レーザスキャナ 深層学習

1. 研究開始当初の背景

地上型レーザスキャナの性能向上と低価格化に伴い、森林資源調査の分野でもこのスキャナの利用が急速に拡大しつつある。また近年の点群処理技術の向上により、各樹木の樹高、胸高直径、材積等の寸法も高精度に算出可能となった。しかしながら調査項目の1つである樹種については、未だ人手に頼らざるを得ないのが現状であり、資源調査の更なる効率化のため、計測点群からの樹種自動判別技術の開発が期待されている。国内森林の大半を占めるスギとヒノキを計測点群から正確に判別できれば、林分境界や林分面積が正確に把握でき、また木材価格が正確に見積もれるなど、そのメリットは大きい。

関連研究

樹種自動判別に関する過去の研究例は、航空写真や衛星画像を対象としたものがほとんどであり、地上計測点群を対象とした例は極めて少ない。Othmani らは、樹幹部点群に対し平滑化処理を適用し、その前後の差分から二値画像を生成し、領域の面積や主成分等の特徴量を算出し、これを RandomForest に利用することで判別を行う手法を提案している。しかしこの研究では、フランスの代表的な樹幹形状が大きく異なる5種を対象としており、本研究で対象とするスギとヒノキには応用が難しい。Guan らは、樹木全体の点群を一定高さごとにスライスし、各高さの点数からなる波形を生成し、これを特徴ベクトルとして深層学習に利用する手法を提案している。しかしながらこの手法は、立木密度が高く、樹木全体の計測が困難な国内森林には適用が難しい。

基本的なアイデア

判別のために真っ先に思いつくセンサとして RGB カメラがあげられるが、森林内は暗く、また遠くの樹木では分解能が低下し、現実的な手段とは言い難い。マルチ/ハイパースペクトルカメラを利用することで高い判別率が得られるが、コストが非常に高い。そのため本研究ではレーザ計測点群のみから判別を行うこととする。一方、樹種判別の基準として、葉の形状や水分含有率の違い等、様々な項目が考えられる。その中でも樹皮は、経年変化や季節変化が少なく、また樹種ごとの特徴が大きく現れる部分である。樹皮形状の他に計測点群から評価可能な樹皮の違いとして、めくれの大小の違いがあげられる。図1に示すように、スギには大きなめくれは

ほとんど見られないが、ヒノキには多く見られる。本研究では、樹皮形状に加え、このめくれの大小を手掛かりとした手法を開発する。



図1 樹皮の比較 (左:スギ, 右:ヒノキ)

2. 研究の目的

本研究では、スギとヒノキを対象とし、その地上レーザ計測点群より、樹皮形状を明確に反映した画像を作成し、これを深層学習に利用することで、高い正解率で樹種を自動判別可能な手法の開発を目的とする。本研究では、愛媛県鬼北町にて、FARO 社製 Focus3D を用いて取得した点群を使用した。計測ピッチは水平、垂直ともに 0.018deg に設定しており、1 計測あたりの点数はおよそ 1 億、計測時間は約 7 分になる。なお計測分解能は、10m の距離でおよそ 5mm となる。本研究では樹齢 33 年から 90 年まで様々な樹木の点群を使用しており、胸高直径も 0.1m~1m 程度と大きなばらつきがある。

3. 研究の方法

提案手法では、樹木毎の点群データより、以下の4ステップからなる手順で樹種を自動判別する。

Step1: 樹幹パッチの抽出

本手法ではまず、樹幹部の点群パッチを抽出するため、入力点群を円筒座標展開する。次に点群から z 成分の最低点を抽出し、ここからある高さ z_{bottom} に最も近い点を基準とし、垂直方向 256 ピクセル内にある点を抽出する。本手法では $z_{bottom}=1.3m$ とした。また水平ピクセル座標の中央値を計算し、これを中心に ± 128 ピクセル内の点みを抽出する。この方法では、図2に示すように、計測距離に応じて抽出される範囲が大きく異なる。水平方向では、近距離ほど点の含まれるピクセル数が多く、遠くでは少なくなる。垂直方向については、手前の樹木ほど高さ範囲が狭く、逆に遠くでは高さ範囲は大きくなる。垂直範囲は 15m 離れた位置の樹木の場合におよそ 2m と

なる。

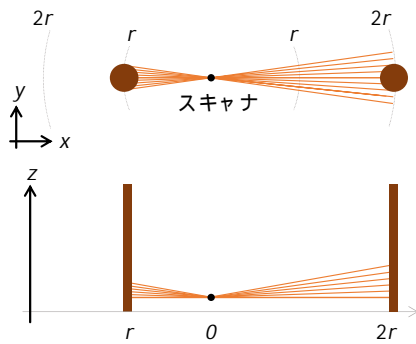


図2 樹幹パッチの抽出

Step2: RANSAC 法による枝葉の特定

上述のステップで抽出した樹幹パッチ点群を xy 平面に投影した点群に対し、RANSAC による円弧当てはめを用い、点群に含まれる枝葉を特定する。繰り返し回数は 100 回、閾値は 15mm とした。

Step3: 3 次曲面当てはめによる距離画像作成

上述のステップで枝葉と特定されなかった点群に対し、曲面当てはめを行う。形状表現自由度と当てはめ精度の観点から、2 変数の 3 次曲面を使用した。また枝葉の点も含め、当てはめ曲面までの距離を算出し、距離画像を作成する。スギとヒノキで異なる樹皮めくれの大きさを画像に反映させるため、全画像に対して距離範囲を $\pm 15\text{mm}$ と定め、画像の輝度値を正規化した。画像サイズは 256×256 である。図 3 の例に示すように、計測地点に近い樹木では、スギ、ヒノキのいずれも樹皮形状の違いが明確である。一方遠くの樹木では、樹皮のめくれが大きいヒノキでは値が大きな箇所がいくつか見られるのに対し、めくれの小さいスギでは値に差が見られず、両者の違いが明確である。

Step4: 点群上の曲率計算による画像作成

Step1 で抽出した点群に対し、各点において、最大・最小主曲率を算出する。そのためまず、各点から指定した距離 d 内にある近傍点集合を抽出する。本研究では $d=20\text{mm}$ とした。その後、近傍点集合に対して 2 次曲面を当てはめ、この曲面を解析して主曲率を算出する。最後に Step3 と同様にして画像を作成する。図 4 に作成した画像の例を示す。

Step5: 深層学習による判別

作成した画像集合に対し、深層学習（畳み込みニューラルネットワーク：CNN）にて学

習と判別を行った。ネットワーク構成は画像処理の分野で広く使用される AlexNet を採用した。

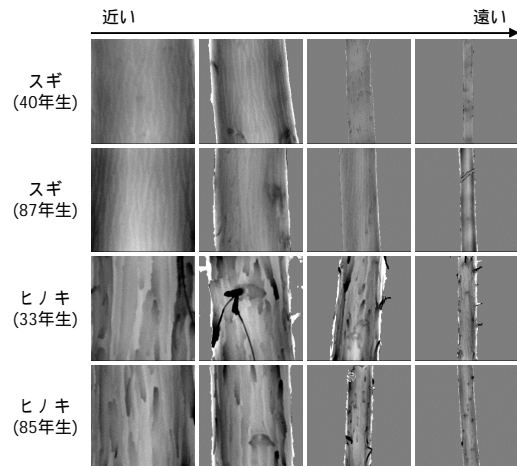


図3 作成した距離画像の例

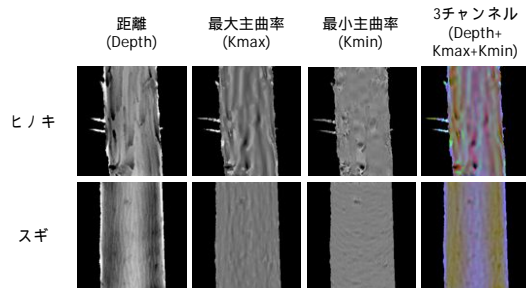


図4 作成した画像の比較

4. 研究成果

本節では提案手法による実験結果について述べる。

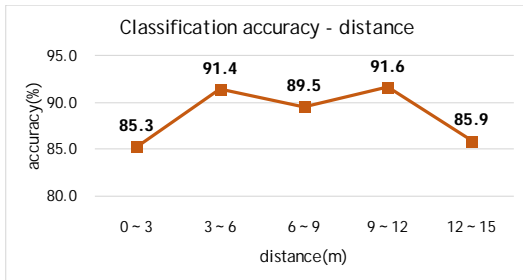
まず距離画像のみを使用した結果について述べる。学習データとして、スギ 17,473 枚、ヒノキ 18,901 枚の画像を使用した。テストデータにはそれぞれ 768 枚を使用した。本研究で使用した画像は計測地点からの水平距離が 15m 以内のものに限定している。また大規模なオクルージョン等により適切な画像が作られていないものが 10% 程度あり、目視で除外した。表 1 に実験結果の内訳を示す。スギ、ヒノキで差は見られず、平均 f 値が 89.3% と良好な結果が得られた。本手法により樹皮形状とめくれの大きさを点群から適切に評価できていることがわかる。表 2 の距離別判別率に示すように、3m 以内の近距離、及び 12m 以上の遠距離で判別率が低下した。この原因として、近距離の画像枚数が他と比べて少ないことがあげられる。また遠くの樹木では画像作成に使用する点数が少ないことに加え、遠くほど計測分解能が低いことが主な要因

であると考えている。

表 1 判別結果の内訳

		分類結果		再現率
		スギ	ヒノキ	
正解	スギ	689	79	89.7%
	ヒノキ	86	682	88.8%
精度		88.9%	89.6%	f値: 89.3%

表 2 距離別判別率



次に、曲率画像を利用した実験結果について述べる。ここでは学習データとして、スギ、ヒノキともに約 2,500 枚の画像を使用した。テストデータにはそれぞれ 270 枚を使用した。比較のため、距離画像も使用した。その結果、最大主曲率を使用した画像では平均 f 値が 91.8% だったものが、最大主曲率を使用した画像では 92.9% まで向上した。この理由として、距離画像では RANSAC と 3 次曲面当てはめなど、計算が不安定になりやすく、結果的に樹皮形状を画像に反映できないことがあった。一方主曲率は各点ごとに計算するため、樹皮形状を安定に反映させることができる。なお最小主曲率を使用した画像では判別率は 82.4% と低かった。距離、最大/最小主曲率の 3 つを統合した 3 チャンネル画像を用いた実験では、複数のデータを総合的に評価する分、判別率向上が期待されたが、判別率は 91.6% にとどまった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Tomohiro Mizoguchi, “Evaluation of Classification Performance of Pole-Like Objects from MMS Image by Convolutional Neural Network and Image Super Resolution” International Journal of Automation Technology, Vol. 12, No. 3, pp.369-375, 2018. (査読有り)

2. Tomohiro Mizoguchi, Akira Ishii, Hiroyuki Nakamura, Hisashi Takamatsu, Tsuyoshi Inoue, “Lidar-based Individual Tree Species Classification using Convolutional Neural Network,” Proc. SPIE Optical Metrology, 2017. (査読有り) 2017.06.27, Munich, Germany. (doi: 10.1117/12.2270123)

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 溝口知広, 石井彰, 中村裕幸, 「反射強度と曲率を利用した地上計測点群からの高精度樹種判別」, 第 129 回日本森林学会大会, 2018 年 3 月 28 日, 高知, 査読なし。
2. 溝口知広, 石井彰, 中村裕幸, 高松久, 井上剛, 「畳み込みニューラルネットワークを用いた点群からの樹種自動判別手法」, 第 128 回日本森林学会大会, 2017 年 3 月, 鹿児島, 査読なし。
3. 溝口知広, 「深層学習による MMS 画像からの柱状物体の分類精度評価」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, I03, 2016 年 9 月, 水戸, 査読なし。
4. 溝口知広, 石井彰, 中村裕幸, 井上剛, 高松久, 「深層学習を用いた森林計測点群からの樹種自動判別」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, I19, 2016 年 9 月, 水戸, 査読なし。
5. 溝口知広, 石井彰, 中村裕幸, 井上剛, 高松久, 「レーザ計測点群上の樹皮テクスチャ評価に基づく樹種自動判別」, 日本リモートセンシング学会第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会論文集, pp.109-110, 2016 年 5 月, 千葉, 査読なし, ポスター発表。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/80/0007914/profile.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

溝口 知広 (MIZOGUCHI, Tomohiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：30547831

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()