

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05912

研究課題名(和文)地上における広葉樹の効率的資源調査を実現するハード/ソフトウェアの開発

研究課題名(英文) Development of Hardware and Software for ground-based efficient inventory of broad-leaved tree

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地上における森林や公園の樹木調査の効率化を目指したハード/ソフトウェアの開発を目的とした。具体的には、まず地上型レーザスキャナやモバイルマッピングシステムにて取得した点群より、点群中の各樹木を1つずつ抽出するセグメンテーション手法を開発した。また動画像を対象としたリアルタイム樹種判別技術の開発、及び広葉樹を対象としたマルチモーダル学習と投票による樹種判別手法の開発を行い、実験よりその有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地上における森林や公園の樹木調査の効率化のため、地上型レーザスキャナやモバイルマッピングシステムの利用が一般的となりつつあるが、ハードウェア/ソフトウェアの観点から解決すべき課題がある。また従来の研究開発のほとんどが針葉樹を対象としており、広葉樹調査には新たな技術開発が必要である。本研究ではいち早くMMSによる地上での広葉樹調査の研究開発に取り組み、点群セグメンテーションやAI樹種判別技術の開発を行うとともに、広葉樹調査研究や当該分野におけるMMSの利用に向けた新たな展開を促進した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of research work is the development of hardware and software for ground-based efficient investigation of trees. The method for tree segmentation is first developed which detects individual trees separately from point cloud captured by terrestrial laser scanner or mobile mapping system. Then the method for real time AI-assisted tree detection and species classification from high resolution movies is developed. Finally broad-leaved tree species classification method is developed using multi modal CNN and voting scheme.

研究分野：デジタル形状処理

キーワード：森林資源調査 モバイルマッピング 点群 セグメンテーション 樹種判別 深層学習 広葉樹

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

地上における森林や公園の樹木調査の効率化のため、地上型レーザスキャナ（以下、TLS）の利用が一般的となりつつある。このスキャナでは、機器設置等の手間はかかるが、数十メートル程度の距離から数ミリの誤差で高精度な3次元点群を取得できる。一方近年においては、ハンドヘルド型やバックパック型のモバイルマッピングシステム（以下、MMS）が登場し、森林や公園等の樹木の調査にも利用されるようになった。MMSでは、精度ではTLSに劣るものの、歩きながら計測できるため、効率的に点群を取得できるメリットがある。これらTLSやMMSにて取得した3次元点群からは、内部地形や立木位置に加え、単木毎の樹高や胸高直径が高精度に算出できることが明らかにされている。しかしながら点群中に存在する数千もの樹木を1つずつ抽出するセグメンテーション性能が不十分であり、ユーザが目視で確認しながら結果を分類しなければならないといった問題がある。また調査項目の1つである樹種は未だ熟練技術者の目視判読に頼る他なく、これを自動化する技術が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、TLSやMMSにより取得した点群や画像に基づき、森林や公園等の樹木調査を効率化する新たな点群/画像処理技術の開発を目的とした。

3. 研究の方法

前述の目的達成のため本研究では、以下の3つに関するデータ処理アルゴリズムを考案・実装し、その有効性を検証した。

(1) 点群セグメンテーション技術の開発

TLSやMMSにて取得した針葉樹、広葉樹の点群中に存在する複数樹木を1本ずつ効率的に高精度検出するセグメンテーション手法の開発を行った。

(2) 動画像に基づくリアルタイム樹種判別技術の開発

MMSに搭載可能なカメラにて取得した動画像より、動画中の樹木を自動検出するとともに、各樹木の樹種をもリアルタイム判別可能な技術の開発を行った。

(3) マルチモーダル学習と投票による広葉樹の樹種判別技術の開発

同じくMMS向けカメラ画像を対象とし、画像中の葉と樹皮の詳細形状を、深層学習を用いたマルチモーダル学習と投票により総合的に評価し、広葉樹の樹種を高精度に自動判別するための基礎技術の開発を行った。

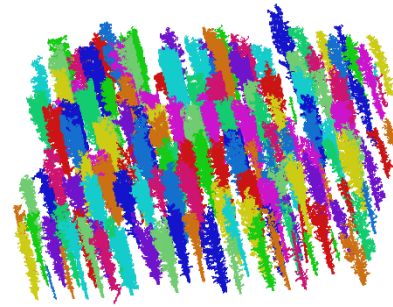
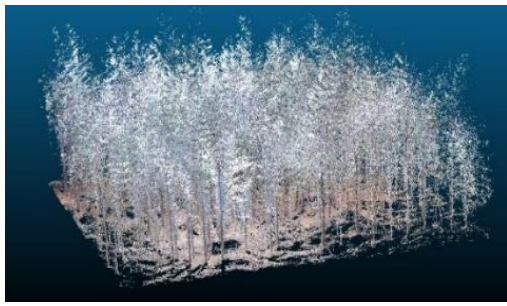
4. 研究成果

(1) 点群セグメンテーション技術の開発

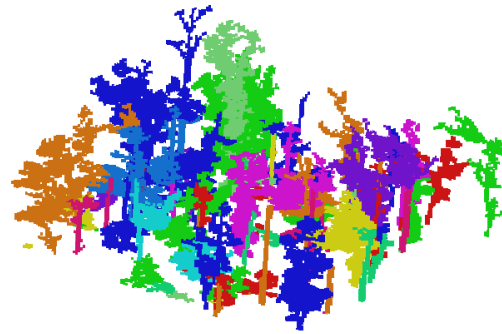
取得した点群データに基づき樹木の単木管理を実現するため、針葉樹、広葉樹の区別を問わず、点群中の各樹木を1つずつ正確に検出する技術を開発した。開発技術ではまず、点群全体を水平方向にサイズごとにブロック分割する。次に各ブロック内の点群をボクセル化し、幹に相当部分点群を抽出し、そこから鉛直上向きに再帰探索を行うことで、樹木を一本ずつ抽出する。この際、隣接する木との境界を適切に見つけるため、探索範囲に制限を設けた。最後に枝葉のみが含まれる点集合をノイズとして取り除き、高精度なセグメンテーションを得る。図1に使用した点群と実験結果の例を示す。図1(a)の例では、計測データを目視で確認したところ、合計150本の樹木が確認された。一方で、本手法では合計158個のセグメントが抽出された。そのうち148個（全体の94%）は一本ずつ樹木の幹部分が含まれており、セグメンテーションに成功した。処理時間は合計80秒であった。図1(b)の例では、48本中の33本（全体の68%）が正しく抽出された。図1(a)の単一樹種のみが存在する人口針葉樹林と比べ、図1(b)の公園では様々な樹種が混在しており、抽出が困難な場合があった。

(2) 動画像に基づくリアルタイム樹種判別技術の開発

MMSに搭載可能なカメラにて取得した動画像より、動画中の樹木を自動検出するとともに、各樹木の樹種をもリアルタイム判別可能な技術の開発を行った。近年ではMMSに搭載可能と考えられる小型で軽量の構成のカメラが登場している。4k動画像では樹木1本1本の樹皮形状を判断できるほど解像度が高く、樹種の判別にも有効と考えられる。しかしながらカメラを手持ったり背負ったりして森林内を撮影するため、撮影した画像をすぐには確認することは難しい。得られた動画像が暗かったり、距離が遠く解像度が不十分で合ったり、ブレがあるなどの要因により樹種判別に十分な品質の動画像が取得できない場合、後に再度撮影し直さなければならない。これを回避するためには、取得した動画像から樹種をリアルタイムに自動判別し、判別結果の妥当性が不十分な場合には直ちにユーザに知らせるシステムが望まれる。このため本研究では、深層学習と投票による高解像度動画からのリアルタイム樹種判別手法の開発を行った。開発手法ではまず、各入力フレームに対し、画像を低解像度化し、深層学習に基づく物体検出手法の中でも処理時間の早いYOLOv3により樹幹検出を行う。次に、高解像度画像中の検出樹幹を含む



(a) TLSにて取得したアカエゾマツ



(b) MMSにて取得した公園内樹木

図1 点群セグメンテーションの結果 (左: 点群, 右: セグメンテーション)

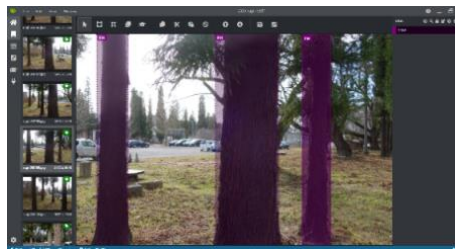


図2 学習データの例 (左: 樹幹検出用アノテーション, 右: VGGによる分類用画像)

小領域から、樹皮形状を捉えた樹皮画像複数枚を抽出する。最後に、各樹皮画像を深層学習によるクラス分類ネットワーク VGG16 に適用し各々樹種判別を行い、その結果の投票より最終判別を行う。実験ではスギとヒノキを対象とした。YOLOによる樹幹検出向けの学習データとして、図2左に示すマイクロソフト社の VoTT(Visual Object Tagging Tool)を使用し、スギ、ヒノキともに各 300 枚に対してアノテーションを行った。また VGG による樹種判別向けとして、図2右のような画像各 800 枚を用意した。スギ、ヒノキを含む画像 600 枚を対象に実験を行った。画像中には合計 2,240 本の樹木が撮影されており、図3のようにそのうちの約 89%を正しく検出できた。また分類精度は、各樹幹から樹皮を含む小領域画像 3 枚の投票を行うことで、平均 F 値が 0.905 となり、高い判別率が達成された。画像 1 枚当たりの処理時間は平均で 0.49 秒であった。

(3) マルチモーダル学習と投票による広葉樹の樹種判別技術の開発

MMSにより取得した高解像度画像から、熟練技術者の判別ノウハウを深層学習に組み込むことで、広葉樹の高精度な樹種判別手法の開発を行った。まずは、技術者が樹種を判別する際に、一般に葉や樹皮の詳細形状を手掛かりとすることから、本手法でも評価指標を葉と樹皮とした。また MMS では、1本の樹木を異なる位置と姿勢から撮影した複数枚の画像が取得できるため、これらの画像中の葉や樹皮を含む小領域画像を複数抽出し、それぞれを深層学習にて樹種判別し、その結果の投票により最終的な判別を行う手法とした。実験は市内の公園に多数存在する、サクラ、イチョウ、ケヤキ、コナラ、クヌギ、プラタナス、ハナミズキの7種類とした。分類用の学習データとして、図4の例のように画像から小領域を抽出し、葉と樹皮のいずれも約 2,500 枚を使用した。図5に実験結果を示す。図5(a)では投票による判別率の向上効果を示す。葉と樹皮とも画像1枚では F 値がそれぞれ 0.746 と 0.802 であったが、15枚の投票では 0.892 と 0.932 まで向上し、投票の効果が顕著に表れた。図5(b)には、葉と樹皮の総合評価における重みの変更による判別率の変化を示す。グラフより、重みを葉と樹皮いずれも 0.5 とし、最終判別結果における葉と樹皮の影響を 50%ずつとした場合に最も高い F 値 0.955 という結果が得られた。



		検出結果		
		スギ	ヒノキ	再現率
正解	スギ	888	134	0.869
	ヒノキ	54	905	0.944
	精度	0.943	0.871	平均F値
	F値	0.904	0.906	0.905

図3 実験結果の例（上段左：スギの検出，上段右：ヒノキの検出，下段：分類精度）

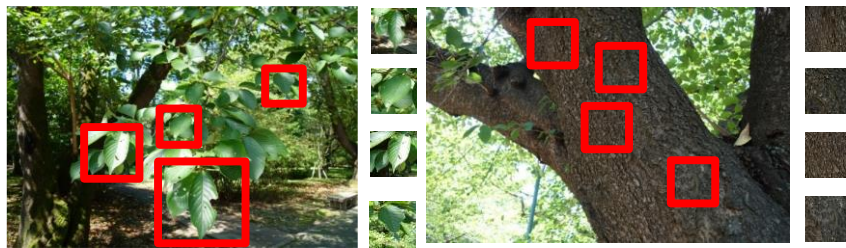


図4 小領域画像作成の例

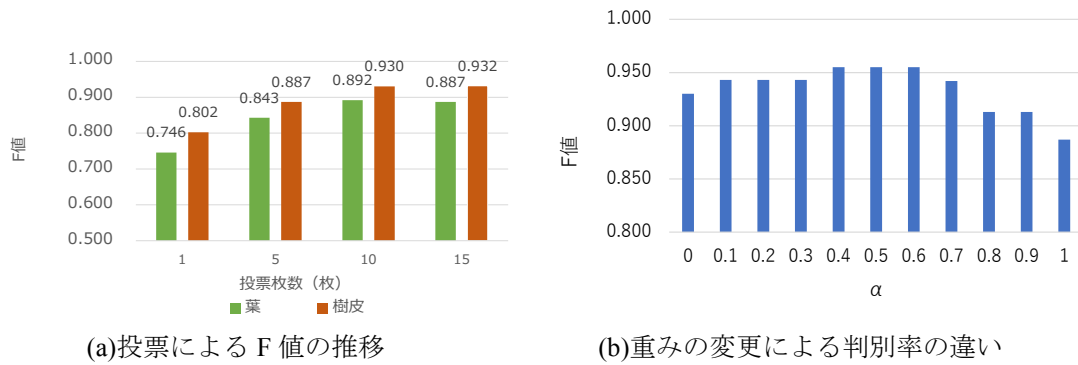


図5 実験結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tomohiro Mizoguchi, Akira Ishii, and Hiroyuki Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Individual Tree Species Classification based on Terrestrial Laser Scanning Using Curvature Estimation and Convolutional Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 江澤一熙, 溝口知広
2. 発表標題 熟練者のノウハウを組み込んだAIによる広葉樹の樹種判別に向けた基礎検討
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江澤一熙, 溝口知広
2. 発表標題 深層学習による樹皮と葉の詳細形状評価による広葉樹の樹種分類
3. 学会等名 日本写真測量学会令和2年度秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝口知広
2. 発表標題 3次元計測を基盤とする異分野コラボレーション
3. 学会等名 日本写真測量学会令和2年度秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江澤一熙, 溝口知広
2. 発表標題 深層学習を用いた広葉樹の樹種判別に向けた基礎検討
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中慧, 溝口知広
2. 発表標題 深層学習を用いた高解像動画からのリアルタイム樹種判別
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江澤一熙, 溝口知広
2. 発表標題 葉の詳細形状評価に着目した深層学習による広葉樹の樹種判別
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝口知広, 石井彰, 中村裕幸
2. 発表標題 点群上の曲率計算と深層学習に基づく樹種判別
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	石川 貴一郎 (Ishikawa Kiichiro) (90578551)	日本工業大学・基幹工学部・准教授 (32407)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------