

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15560

研究課題名（和文）林業機械における荷役作業サポートのための材形状推定システムの開発

研究課題名（英文）Development of log shape detection for supporting loading operation on forest machinery

研究代表者

有水 賢吾（Usui, Kengo）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究員

研究者番号：00781642

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では荷役作業自動化のための材（丸太）の把持位置推定技術の開発を目的とした。さらに、把持位置推定のための要素技術として材の検出手法を提案した。材の検出についてはセグメンテーションを利用した手法を提案し、精度81%で検出が可能であった。3次元点群の取得と材検出を組み合わせた材把持位置推定システムについては、径方向にRMSE0.191 mで把持位置の推定が可能であった。本研究は単独の短幹材の把持に十分な精度での材把持位置推定技術を開発し、荷役作業の自動化に貢献可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

林業においては安全性と人手不足解消の観点から作業の自動化が着目されている。これまでの林業機械の自動化は走行の事例が多く、荷役作業に着目したものは少ない。そこで、本研究では荷役作業に着目し、丸太（材）を掴む・積むという荷役作業の自動化・サポート技術を対象とした。荷役作業時には材の重心位置等を適切に把持する必要があるため、本研究では3次元計測および深層学習を利用した手法を組み合わせることで荷役作業の自動化・サポート技術開発のための材把持位置推定システムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to develop an estimation system for the gripping position in autonomous log loading/unloading. We also proposed a log detection system as a key technology for estimating the log-gripping position. In log detection, a segmentation method using deep learning was proposed and achieved a detection accuracy of 81%. By integrating log detection with a 3D point cloud obtained from a stereo camera, we developed the estimation system for the log-gripping position. The proposed estimation method demonstrated a root mean square error of 0.191 m in the radial directions. This research developed a sufficiently accurate estimation technique for gripping a log and could contribute to autonomous log loading/unloading.

研究分野：林業工学

キーワード：セグメンテーション 自動化 荷役作業 林業機械 林業工学 森林利用

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の林業では多くの機械作業が行われており、機械振動による作業者への悪影響を軽減するために遠隔操作や作業の一部自動化によるサポート技術が開発されつつある。しかし、保有台数が多く一般的に利用されているフォワーダにおける荷役作業において自動化の試みは行われていなかった。そこで、本研究ではフォワーダによる荷役作業に着目し、丸太(材)を掴む・積むという荷役作業の自動化・サポート技術に注目する。フォワーダは揺動式の荷掴み機構を備えているため、材の荷振れを抑えた作業のために材の重心位置を適切に把持する必要がある。しかし、荷役作業を対象として材の重心や材の形状を推定する試みはこれまで行われておらず、要素技術の開発が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では荷役作業の自動化・サポート技術開発のための材把持位置推定システムを開発することを目的とした。

これらのシステムは材の形状を推定可能であるだけでなく、機械の移動による材の相対座標の変化に対応するためリアルタイム処理が可能であること、屋外での林業機械の使用に耐えるセンシング方法であることが必要である。そこで本研究ではこれらの要件を満たすため、リアルタイム処理が可能な深層学習による材領域検出と、比較的低価格で利用が可能なステレオ画像処理による3次元計測を組み合わせた材把持位置推定システムを開発することとした。

### 3. 研究の方法

本研究では材の把持重心位置推定技術開発として、荷役作業中の画像における材領域の検出および材形状推定のために以下の2課題に沿って研究を実施した。

#### (1) 深層学習を用いたセグメンテーションによる材検出

材把持位置推定のための第1段階として、材を含む画像から材の領域を精密に検出するシステムを開発した。近年の画像処理では、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)による深層学習を用いた画像中の物体検出が広く行われている。そこで本研究では材を撮影した画像から深層学習を用いて材を含む対象領域を検出するシステムを開発することとした。

本研究では深層学習によるセグメンテーションを適用し、材を撮影した画像からCNNによる学習を行うことで材を1本ごとに検出可能なモデルを作成した。

汎用性の高い検出システムを構築するためには、材の置かれている光学的な環境が異なる条件下の画像を学習の入力とする必要があるため、複数の試験地の各季節において多様な樹種を含む材の画像を取得し、汎用性に富む学習モデルを作成した。

#### (2) 材の把持位置推定システムの開発

材を適切に把持するためには材の重心や形状に基づき適切な位置を把持することが必要となる。そこで、本研究では材の把持位置として重心を想定する。材は曲がりのある円錐台であることから、ステレオ処理によって得られた3次元点群から材の形状等を推定することで材の把持位置推定を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 深層学習を用いたセグメンテーションによる材検出

セグメンテーションによる材検出については、個別の材の領域を検出可能なインスタンスセグメンテーション(Mask-RCNN)を利用した手法を開発、評価を行った。茨城県つくば市および群馬県沼田市にてステレオカメラで撮影したスギ・ヒノキ・モミの極積み画像および材のラベル画像のデータセットを作成し、学習モデルを作成した。この際に、環境変化に対応可能な検出を行うために複数の試験地にてデータを取得するのみならず、教師データをランダムに拡張した。

学習の結果、材を精度81%で検出すること可能であった(図-1)。単一の試験地にて学習したモデルと比較して、本研究内で提案した学習モデルは未知のデータに対して大幅に精度が向上することを確認し、複数の試験地に対応可能な汎用性の高い検出ができていると考えられた。また、学習に用いていないヒマラヤスギを含んだ画像データを用いた場合でも同程度の精度が得られ、学習に用いていない樹種の検出においてもある程度の精度で検出が可能であることが示唆された。また、学習と平行してデータセットを拡充し最終年度までに3262枚の材セグメンテーション用データセットを作成した。



図 - 1 インスタンスセグメンテーションによる材検出結果の一例

(2) 材の把持位置推定システムの開発

ステレオカメラによる 3 次元点群取得と材検出システムを組み合わせた材把持位置推定システムを開発した。当初は得られた点群から材の形状を推定し、推定された材の形状から材の把持位置となる重心を推定する予定であった。しかし、材形状推定精度が把持位置推定に必要な精度を満たさなかったため材を含む点群から直接材の重心を推定し、これを材の推定把持位置とすることとした。

本研究内で開発した材把持位置推定手法は下記の通りである。まず周囲の状況をカメラより取得し、4. (1)にて提案した材検出手法により個別の材が含まれる領域を抽出する。その後、ステレオカメラより取得した 3 次元点群より抽出された材の 3 次元座標点群を得る。その後、検出された点群の重心を推定することで、これを材の把持位置として設定した。材の検出手法としてデータセットの作成が容易かつ処理が高速な矩形での検出と、ピクセル単位で詳細な材の領域を検出可能なセグメンテーションの 2 種類について検討を行った。

結果として、材検出に矩形検出を利用した場合には材の把持位置を図 - 2 の XYZ 方向にそれぞれ RMSE 0.547 m, 0.643 m, 0.150 m にて、セグメンテーションを利用した場合には RMSE 1.190 m, 0.191 m, 0.130 m で推定可能であった (図 - 3) 推定された把持位置は試験時に利用した機体質量 3 t クラスグラブプルでの単独の短幹材の把持に十分な精度であった。

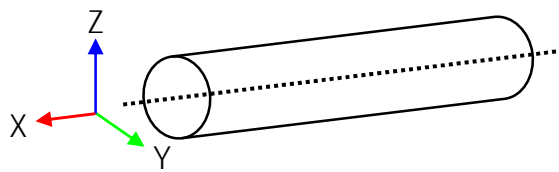
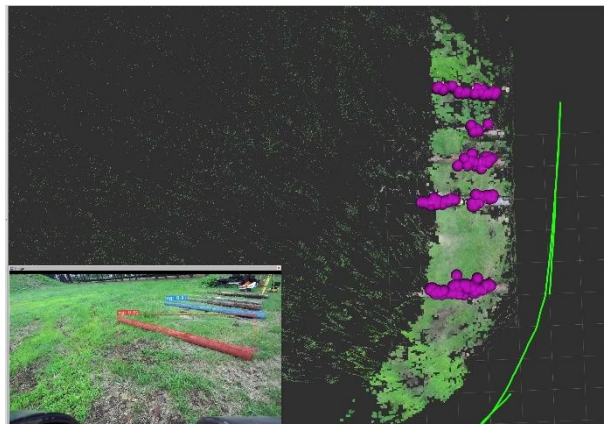


図 - 2 誤差評価時の座標系

X 方向が材の中心軸方向、Y 方向が材の径方向、Z 方向が高さ方向を示す。



### 図 - 3 材把持位置推定結果の一例

本研究はセグメンテーションとステレオカメラによる 3 次元計測を組み合わせた材把持位置推定システムを提案するとともに、材把持位置推定時の誤差を把持対象の材を基準として明らかにした。本研究で対象とする荷役作業には極積材の積み込みやフォワード荷台からの荷下ろし等精密な動作を必要とする作業が存在する。したがって、精密な動作を含む荷役作業の自動化にあたってはセンシング、経路計画、制御の各段階における精度を評価し、利用可能な作業を判別することが重要である。本研究で開発した材把持位置推定システムは離散した材の把持が可能な精度であったものの、隣接した材の把持に必要な精度には満たなかった。本研究で開発した把持位置推定手法とより近距離での精密なセンシング手法を組み合わせることで、隣接した材の把持に必要な精度で把持位置の推定が可能と考えられる。本研究は材把持位置推定技術を開発するとともに把持位置推定時における誤差を明らかにしたものであり、荷役作業の自動化に貢献可能である。

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 有水 賢吾	4. 巻 38
2. 論文標題 荷役作業自動化のためのステレオカメラによる材把持位置推定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 森林利用学会誌	6. 最初と最後の頁 35～42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18945/jjfes.38.35	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kengo Usui
2. 発表標題 Log Shape Segmentation by Deep Learning for Autonomous Log Loading
3. 学会等名 The Joint 43rd Annual Meeting of Council on Forest Engineering (COFE) & the 53rd International Symposium on Forest Mechanization (FORMEC)（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有水賢吾
2. 発表標題 荷役作業自動化のための材形状推定における自動機械学習の適用
3. 学会等名 日本森林学会第133回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有水賢吾
2. 発表標題 インスタンスセグメンテーションによるロバストな材検出手法
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------