

位置姿勢推定システムを利用した丸太材の加工 Fabrication for Raw Wood Using Position and Posture Estimation

○古庄 玄樹^{*1}, 中村 優介^{*1}, 常國 晋吾^{*2}, 平沢 岳人^{*3}
Genki FURUSHO^{*1}, Yusuke NAKAMURA^{*1} Shingo TSUNEKUNI^{*2}, and Gakuhiro HIRASAWA^{*2}

*1 千葉大学大学院 融合理工学府 博士後期課程 / 日本学術振興会 特別研究員 DC
Graduate Student, Graduate School of Sci. and Eng., Chiba university / JSPS Research Fellow

*2 千葉大学大学院 融合理工学府 博士前期課程
Graduate Student, Graduate School of Sci. and Eng., Chiba university

*3 千葉大学工学研究院 教授
Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University

キーワード：位置姿勢推定; 原木加工; 間伐材; 加工機

Keywords: 6Dof Estimation; raw wood processing; thinned wood; processing machine

1. はじめに

間伐材は森林管理上発生する木材であり、その径の小ささ、曲がりなどが原因で製材には向かず、一部はバイオマス発電などの燃料として利用されているが、それでも採算が取れない場合も多く、未利用材となっている。しかし、国内の林業は慢性的に経費が収益を上回っており、補助金によって支えられている状態である。そこで、未利用材となっている間伐材を単価の高い建材への活用手法を提示することができれば、林業事業者の助けになると考えられる。

本報では丸太材を製材せずに建材に加工する手法を提案する。通常、無垢材の建材を加工する時、丸太材を製材し長方形断面の規格材にしてから、NC 加工機やプレカットマシンで加工を行う。規格材にすると、断面が小さくなるが、規格材の側面をガイドに機械内の固定の位置で加工が可能となる。丸太材は個々に異なる凹凸を持つため、製材せずに加工する場合、固定の位置で加工することは難しい。そこで、コンピュータビジョン技術によって丸太材の位置姿勢を推定し、推定した丸太材に応じて NC 加工機を動作させる手法を提案する (図 1)。

2. 関連研究

近年では 3DCAD のようなデザインツールと腕型ロボットは木材を使用した複雑な形状を作るプロジェクトがよく見られる^{1,2)}。このような取り組みは基本的には、均質な材料を用いて行われている。均質でない材料を扱う場合には材料の状態の把握が必要である。

材料の状態の把握にレーザースキャナやフォトグラムトリグラメトリを使用したプロジェクト^{3,4)}もあるが、これらの事例では設計用に形状を取得した時と加工機に設置した時に設置した時の姿勢を合わせる必要がある。そのため、加工姿勢が限られ加工できる形状が制限される。

一方で、フォトグラメトリ時と加工時の姿勢の違いを Aruco マーカで取得するような事例も存在する⁵⁾。Aruco マーカはそのマーカの特徴から位置姿勢を推定するが、同様のことを丸太材の表面のテクスチャをもとに行うことが可能だと考えられる。Kei らの研究では画像特徴点を用いてカメラ位置姿勢推定を行う研究を行っている⁶⁾。この手法を組み合わせることで、丸太材に特殊なマーカを付与することなく、フォトグラメトリ時との姿勢を推定することが可能だと考えられる。



図 1 位置推定システムを用いた丸太材加工のワークフロー

3. 実験環境

本報の位置姿勢推定及び加工実験は図2に示す、自作の五軸加工機で行った(図2)。五軸加工機は動作軸が直動軸三軸、回転軸二軸で構成されるガントリー型であり、直動軸 XYZ の可動範囲はそれぞれ 1100mm, 1100mm, 400mm となっている。主軸は ATC(Auto Tool Change)機能付きで複数のツールを扱える。今回の加工実験では丸のこ、スパイラルビット、アリ溝カッターの三種を使用した。(図3)

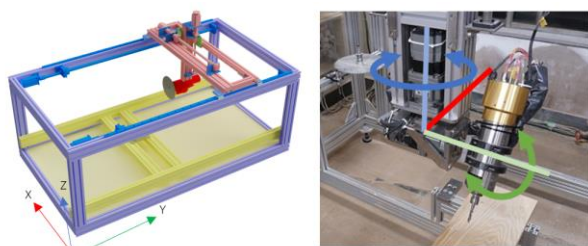


図2 自作五軸加工機全体像(左)、主軸部(右)



図3 実験で使用した加工ツール、丸ノコ(左)、スパイラルビット(中)、アリ溝カッター(右)

4. 位置姿勢推定

4.1. 推定手法

丸太材を加工機に設置したときの丸太材の位置姿勢の取得には PnP(Perspective-n-Points)問題を解く手法を用いる。PnP 問題とは三次元と二次元の対応点から物体の姿勢を求める手法である。加工機座標系における丸太材の位置姿勢を直接推定することは難しい。本報では加工機にカメラを設置し、加工機上のカメラの相対的な位置とカメラと丸太材の相対的な位置を PnP 問題を解くことで取得し、この二つの関係から、加工機座標系における丸太材の位置姿勢を求めた。

加工機上のカメラの位置姿勢の推定ではカメラに写した加工機ツールの先端の UV 座標と加工機コントローラの示す三次元座標の組み合わせを 18 セット取得し PnP 問題を解いた(図4)。カメラと丸太材の相対的な位置関係の推定には画像特徴量を用いる。図1に示したワークフローで、設計に丸太材の形状を用いるために行っているフォトグラメトリではフォトグラメトリに使用した画像の特徴点が丸太材の三次元モデル上にマッピングされた

データを取得できる。このデータと加工機に設置された丸太材をカメラで撮影した画像で特徴点のマッチングを行う。マッチングした点で PnP 問題を解くと、丸太材とカメラの位置関係が得られる。よって加工機上のカメラの位置とカメラと丸太材の相対位置から、加工機座標系における丸太材の位置姿勢が得られた。

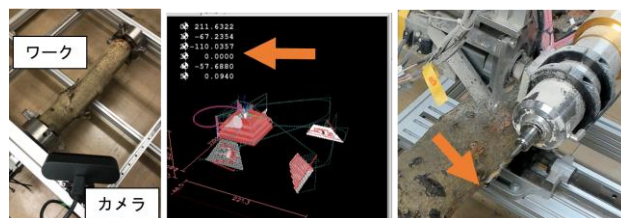


図4 加工機に取り付けたカメラとワーク(左)、コントローラの示す三次元座標(中)、カメラに写るツール先端 UV 座標 (右)

4.2 推定精度の検討

位置姿勢推定が加工に十分な精度で行われているか検討のため、推定した丸太材の位置とタッチセンサで取得できる丸太材表面の座標を比較した。推定した丸太材の位置とタッチセンサで取得した点を重ねると図6のようになる。図7、8は図6から YZ 平面、XY 平面で部分的に抜き出した値である。比較の結果二つの表面は概ね重なり、これらの計測による誤差は 1mm 未満に収まっていることから、部材加工には十分な精度であることを確認した。



図5 ATC モーターで取り付けられる用になったタッチセンサ(左)、タッチセンサによる表面の計測(右)

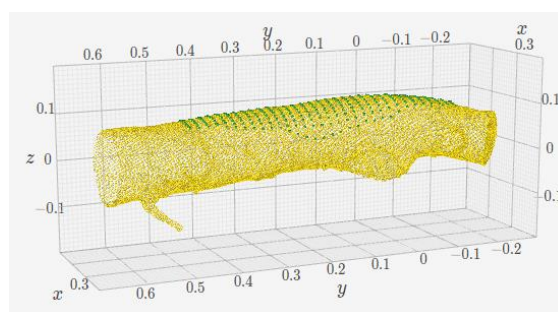


図6 推定した丸太材の位置(黄)、タッチセンサで取得した丸太材表面(緑)

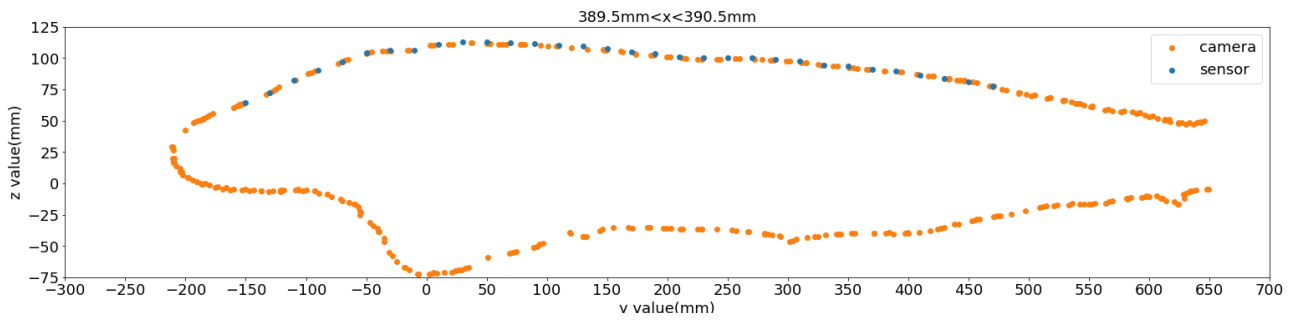


図 7 yz 平面で抜き出した丸太材の位置推定と接触センサで取得した木表面の比較

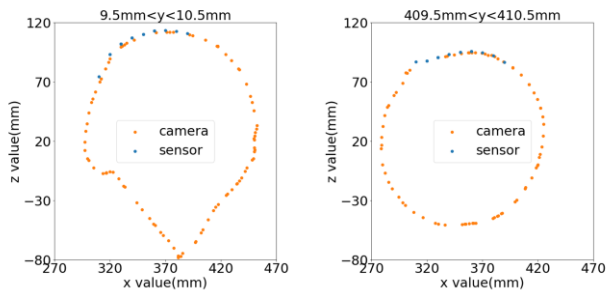


図 8 xz 平面で抜き出した丸太材の位置推定と接触センサで取得した木表面の比較

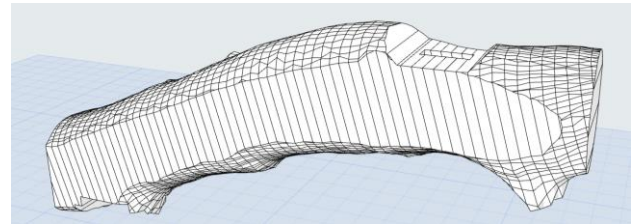


図 9 設計した太鼓梁の形状



図 10 カメラから撮影した画像に推定位置の丸太材を投影した画像

5. 加工実験

本報の位置姿勢推定システムは、木の表面のテクスチャーを利用しているため、加工により表面が欠損した場合、位置姿勢推定の精度が下がる。そのことを踏まえ、加工実験を二つの加工実験を行った。一方は回転把持機構を用いて、予め複数視点の位置姿勢を推定し、推定結果を参照して加工を行った。もう一方では加工途中で平面の台の上に複数回置き直す。表面が欠損すると推定精度が下がるが、カメラに映る部分にもとの表面が多く写る順序で加工することでその影響の低減を図った。前者では太鼓梁、後者では階段を対象とし、どちらも一つの姿勢では加工が難しい複数方向からの側面加工が必要とする形状を対象とした。

5.1. 回転把持機構を使用した太鼓梁加工

図 9 は設計時の太鼓梁形状である。太鼓梁の下面には渡り腮、上面にはホゾ穴を設けており、残りの二面は平面とした。把持機構に設置した丸太材の位置姿勢を推定し、位置姿勢に合わせてカメラ画像に丸太材の形状データを重ねるとぴったりと重なることが確認できた(図 10)。推定した位置姿勢に合わせて、加工パスを座標変換し、加工を行った様子が図 11 である。太鼓梁の加工は四つの姿勢で行った。制作した太鼓梁は図 12 に示すように、他の部材と問題なく組み付けられ設計通りに加工できていることを確認した。

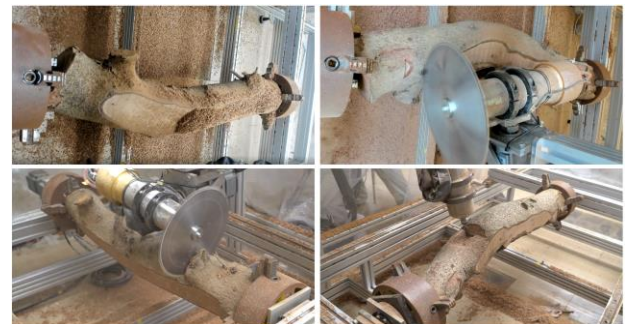


図 11 五軸加工機による太鼓梁の加工



図 12 制作した太鼓梁

5.2. 階段部品の置き直し加工

回転把持機構では端部を掴むため端部の加工ができない。そのため端部の形状が複雑なものを加工する場合は把持機構が大きな障害となってしまう。そこでアルミフレームで作成した台の上に固定し、置き直しながら加工する。本報の位置姿勢推定システムはカメラに写る丸太材の表面が減少すると精度が下がる。そこでカメラに写る面が常に未加工の面となるように加工順を決定した。図 13 は階段のささら桁のに当たる部分である。このささら桁の加工は三回の置き換えを必要とする。図 14 は加工中の丸太材を置き換えたあともとの丸太材の画像特徴量とマッチングした点を表している。図 15 は図 14 のマッチングした特徴点を用いて推定した丸太材の位置を画像上で表した図になっている。推定した値をもとに加工し、組み立てた階段を制作した (図 16)。

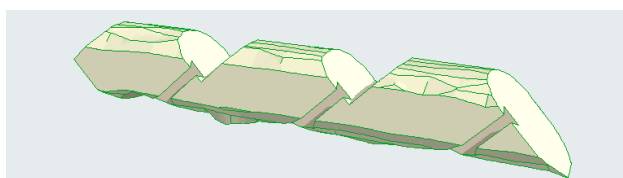


図 13 設計した階段のささら桁の部品



図 14 置き直した丸太材の特徴点マッチングできた点を示した画像(上から置き直し一回目、二回目、三回目)



図 15 置き直した丸太材の推定位置を示した画像(上から置き直し一回目、二回目、三回目)



図 16 制作した階段

6. まとめ

太鼓梁、階段の制作を通し、本報の位置姿勢推定システムで丸太材を特別な治具なしで加工できることを確認した。この手法は五軸加工機に限ることなく、ロボットなど位置制御可能な加工機にも適用でき、加工対象も画像特徴量が取得できる素材であれば同様に位置姿勢推定が可能であるため汎用な手法といえる。

本報では加工機の可動域の制限があり、長さ 700mm 程度のものしか加工が行えなかった。建築スケールの部材加工は今後の課題としたい。

[参考文献]

- 1) Helm Volker, Knauss Michael, Kohlhammer Thomas, Gramazio Fabio and Kohler Matthias. Additive robotic fabrication of complex timber structures. *Advancing Wood Architecture: A Computational Approach*. pages 29-43, 2017
- 2) Thoma Andreas, Adel Arash, Helmreich Matthias, Wehrle Thomas, Gramazio Fabio and Kohler Matthias. Robotic Fabrication of Bespoke Timber Frame Modules. *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*, pages 447-458, 2018
- 3) Vestartas Petras and Weinand Yves. Laser Scanning with Industrial Robot Arm for Raw-wood Fabrication. *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. pages 773-780, Japan, 2020
- 4) Pradeep Devadass, Farid Dailami, Zachary Mollica and Martin Self. *Robotic Fabrication of Non-Standard Material*. acadia. 2016
- 5) Larsson Maria, Yoshida Hironori and Igarashi Takeo. Human-in-the-loop Fabrication of 3D Surfaces with Natural Tree Branches. *Proceedings of the ACM Symposium on Computational Fabrication*. Pittsburgh, Pennsylvania. 2019
- 6) Kei Obata and Hideo Saito. Camera Pose Estimation Based on Keypoints Matching with Pre-Captured Set of Real Images. *the 22nd Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*. pages 76-80, 2016