

深層強化学習と深度カメラによる五軸加工機の迂回パス生成に関する研究 A Study on Automatic Generation of Detour Operation of 5-axis Machine by Deep Reinforcement Learning and Depth Camera

○藤岡 凌司*¹, 古庄 玄樹*², 加戸 啓太*³, 平沢 岳人*⁴
Ryoji FUJIOKA *¹, Genki FURUSHO *², Keita KADO *³ and Gakuhito HIRASAWA *⁴

*1 千葉大学大学院 融合理工学府 博士前期課程

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

*2 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 DC2

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, JSPS Research Fellow

*3 千葉大学大学院 工学研究院 助教

Assistant Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University

*4 千葉大学大学院 工学研究院 教授

Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University

キーワード：深層強化学習；五軸加工機；迂回動作；深度カメラ；点群処理；

Keywords: Deep Reinforcement Learning; 5-Axis Machine; Detour Operation; Depth Camera; Point Cloud Processing.

1. はじめに

近年、建築生産の分野では様々な工程における機械化・自動化が試行されている。なかでも木部材加工で用いられる自動加工機は規格品の効率的生産を主目的として幅広く導入が進められており、プレカットをはじめ活発な利用がなされている。

一方、アルゴリズムックデザインなどコンピュータを活用した新しいデザインの実現において、ロボットや多軸加工機を用いた多品種少量生産の部品加工は必要不可欠な技術である。筆者らの所属する研究室では人工技能¹⁾と称される機械加工研究として五軸加工機による木質部品の加工手法に関する研究を継続的に行っており、これまでの取り組みではツールの自動交換による多様な連続加工や、不整形な間伐材に対する切削加工などが可能となった。

五軸加工機では、ツール先端部を指定した点まで移動させながら向きや角度を調節して対象の加工を行う単位パスと、与えられた単位パスの終点から次の単位パスの始点までツールを安全に移動させる迂回パスを複数組み合わせる連続加工を実行する(図1)。本研究では五軸加工機におけるパス生成プロセスの自動化に向けた取り組みとして、深層強化学習を用いた迂回経路の導出手法に関する提案を行っており、前報²⁾では迂回パスを自動生成するシステムの開発(図2)と生成されたパスによる実機検証を行い、本手法の有用性を提示した。

図2のシステムでは、加工対象となるワークのサイズや設置位置などの計測数値情報を手動で入力した後、①単位パスの入力、②推論による迂回経路の導出、③迂回パスの

出力、といった三段階の処理を通してパスを生成する。小さく単純な形状の部材加工を行う場合、ワークは加工機を中心に水平垂直の状態で行うことができるため、位置姿勢の計測は比較的容易である。一方、大きな部材の加工や複雑形状の連続加工を行う際には、加工機の可動範囲を十分に確保するため、ワークを加工機中心からずらした位置に角度をつけて設置する場合があります。位置姿勢の正確な計測には大きな労力が発生する。また、間伐材など不整形なワークでの加工を行う場合、その形状を正確に計測してシステムへと入力することは困難である。設置されたワークの位置姿勢と形状を取得する手法の確立は、本システムの運用における大きな課題となっている。

加工機内におけるワークの位置姿勢計測と立体物の形状計測を同時に行う手法としては、カメラを用いた三次元画像計測が有効であると考えられる。本報では、ステレオ方式の深度カメラを用いてワークの位置姿勢と形状の推定を行う手法の提案と、実機試験の結果について報告する。

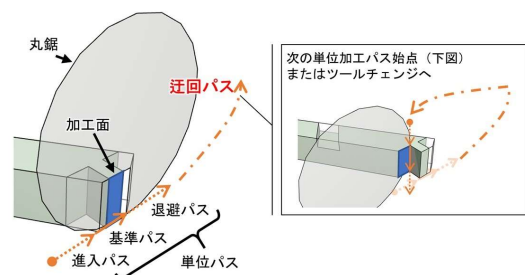


図1. 五軸加工機における加工パスの構成

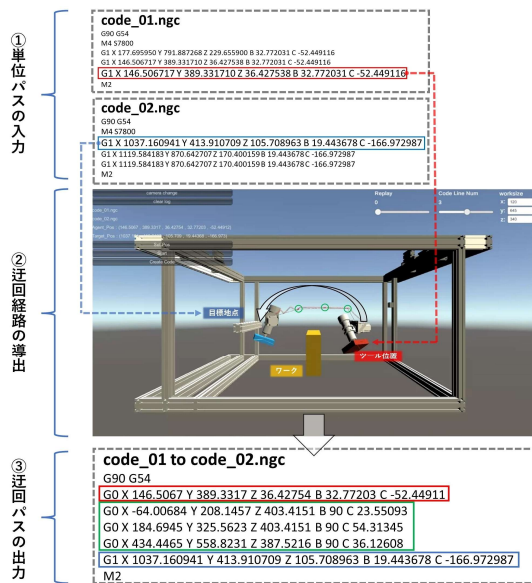


図 2. 開発したシステムとパス生成プロセス

2. 研究概要

三次元画像計測とは、立体物の形状や三次元位置の計測を画像から行う手法の総称であり、カメラのみを用いる受動型計測と、レーザーなどの計測補助を加えた能動型計測の二つに分類される。各手法には計測精度や計測可能範囲、計測機材のサイズなどに関して様々な違いがあり、対象や環境に即した手法を選択する必要がある。本研究では、広範囲での計測が可能な受動型計測のステレオ法式を選択し、使用する計測機材には小型で軽量かつ広い視野を持つ深度カメラ Intel RealSense Depth Camera D435 を採用した。

ワークの三次元画像計測を行う手順を図 3 に示す。まず、加工機上部に固定された 2 台の深度カメラからワーク設置前の加工機内部を撮影し、取得した深度情報をもとに点群データを作成する。次に、加工機にワークを設置し、同様の方法で撮影と点群データの作成を行う。その後、作成した二つの点群データの差分を取得することでワーク表面の点群データを抽出し、それらを用いてワークの位置姿勢と形状を推定する。

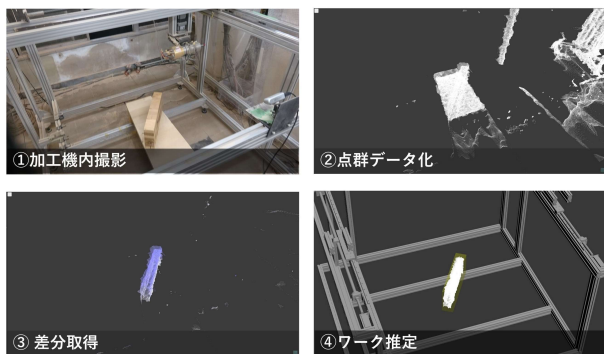


図 3. ワークの三次元画像計測

3. 点群データを用いた位置姿勢・形状の推定

3.1. 点群の事前処理

深度カメラによって取得した点群データから、ワーク表面の点群を抽出する手法を以下に示す。まず、ワークの設置前と設置後の点群をそれぞれ取得する（以下、点群 A、点群 B とする）。次に、点群 B の各点から最も近い位置にある点群 A の点を最近傍探索によって求め、その距離を取得する。距離が極端に近い場合、その点は点群 A と点群 B の両方に含まれていると考えられるため、ワーク表面に該当しない部分であると判断できる。このように判断された点を全て取り除くことで、ワーク設置前と設置後の差分にあたる点群を取得する。

上記の手順で差分を取得するためには、距離に閾値を設ける必要がある。深度カメラで取得される点群にはノイズが含まれるため、ワークごとに適切な閾値が異なり、一定の値で対応することが難しい。ここでは閾値を手動で設定することで、ワーク表面以外の大部分の点群を取り除く機能を実装した(図 4)。

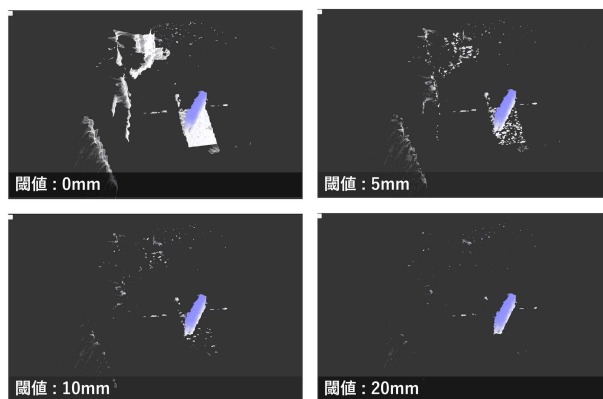


図 4. 閾値による差分の変化

3.2. ワークの推定手法

学習の関係上、迂回パス生成システムでは点群データを直接扱うことができないため、取得した点群データを立体形式に変換する必要がある。設置されたワークの位置姿勢と形状を実ワークの近似立体（以下、推定ワークとする）を用いて推定する手法として、Quickhull 法^{注1}を用いた最小バウンディングボックスの作成を行う。

推定ワークの作成手順を図 5 に示す。まず、取得した点群を x-y 平面に投影し、Quickhull 法を用いて凸包^{注2}を検出する。次に、凸包を内包する面積最小の長方形を作成する。このような長方形は凸包のいずれか一边を自身の辺の一部として持つ性質があるため、凸包の各辺に対して作成した長方形の中から面積が最小であるものを選択することで求められる。最後に、点群を x-z 平面に投影して z 軸方向の最大点と最小点から高さ情報を取得し、前述した長方形を底面とする直方体を推定ワークとして作成する。

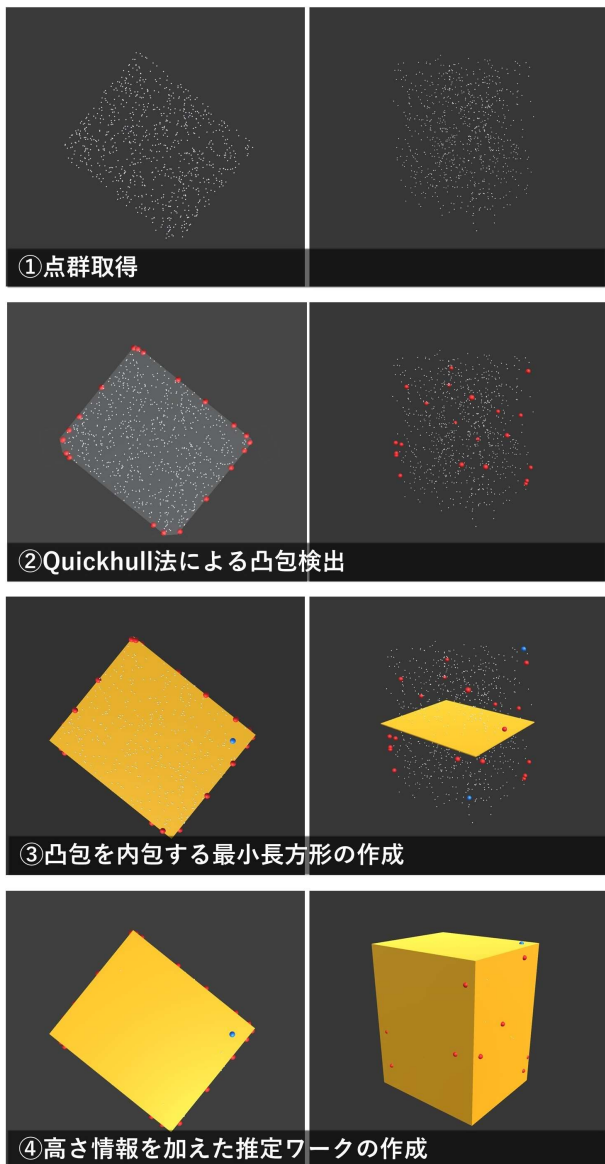


図5. 推定ワークの作成

3.3. ノイズの処理

3.1.の事前処理で取得された差分の点群には、少量ながら広範囲にノイズが残ってしまう。このようなノイズはバウンディングボックスの作成に大きな影響を与えるため、可能な限り取り除く必要がある。ここでは前述の凸包検出によってノイズの可能性が高い点を強調表示し、手動での矩形選択によって除去を行う機能を実装した(図6)。

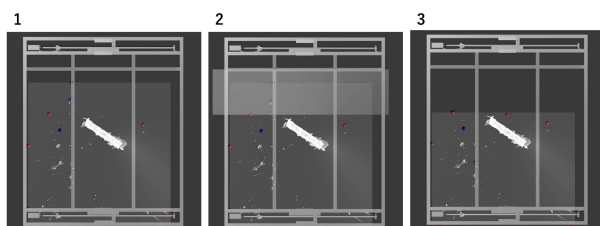


図6. ノイズ除去の様子

4. ワーク推定機能を加えたシステムによる実機検証

前述したワークの推定手法を迂回パス生成システムへと実装し、実機での迂回試験を行う。迂回対象となるワークには直方体の集成材(以下、整形ワークとする)と原木から切り出された曲がり材(以下、不整形ワークとする)の二種類を用いた(図7、図8)。

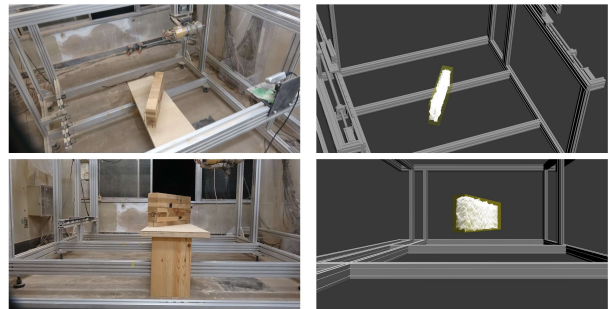


図7. 整形ワークに対する推定の様子

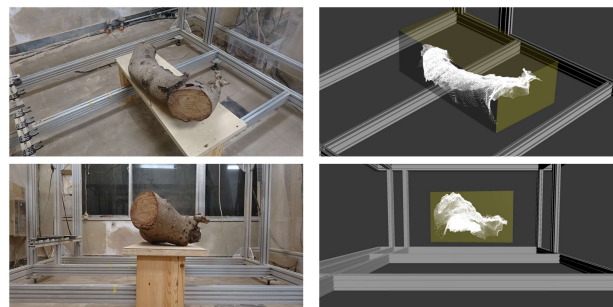


図8. 不整形ワークに対する推定の様子

4.1. 実ワークに対する推定結果と考察

整形ワークに対する推定結果を表1に示す。図9のように、表面の微小ノイズの影響を受けて各辺のサイズが15~20mmほど大きくなり、サイズの誤差に引きずられる形で位置と角度にも誤差が生じていることが確認された。推定ワークが実ワークよりも大きくなることで迂回の効率性は低下する一方安全性は向上するため、今回の試験では大きな問題とならなかった。

表1. 実ワークに対する推定精度

		実ワーク	推定ワーク	誤差
位置(mm)	x	554.0	549.8	4.2
	y	536.0	529.4	6.6
	z	25.0	32.6	7.6
	計			18.4
サイズ(mm)	x	485.0	506.2	21.2
	y	85.0	101.1	16.1
	z	220.0	234.6	14.6
	計			51.9
角度(°)		30.1	33.5	3.4

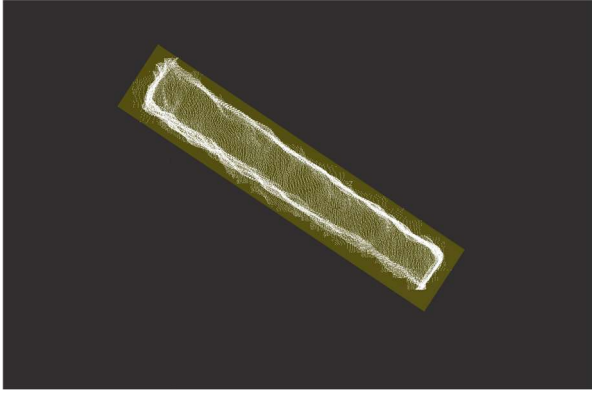


図9. 推定ワークと表面の微小ノイズ

4.2. 実機での迂回試験

システムによって生成した迂回パスを用いた実機試験を行ったところ、図10と図11に示すような迂回動作が実行された。迂回動作はシステムによる迂回シミュレーションと同様の軌跡を示し、ワークやフレームへの接触は発生しなかった。整形ワークに対する迂回では移動と同時にツールを180°回転させた後、ワーク表面付近を効率的に移動していく様子が確認された。また、不整形ワークに対する迂回ではツールの姿勢を細かく制御しながら目標位置へと安全に移動する様子が確認された。

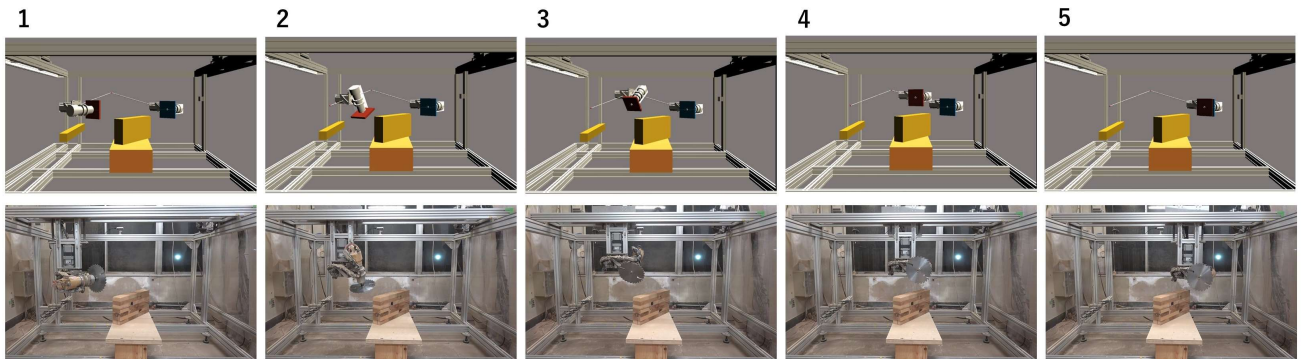


図10. 整形ワークに対する迂回シミュレーション（上段）と実機検証の様子（下段）

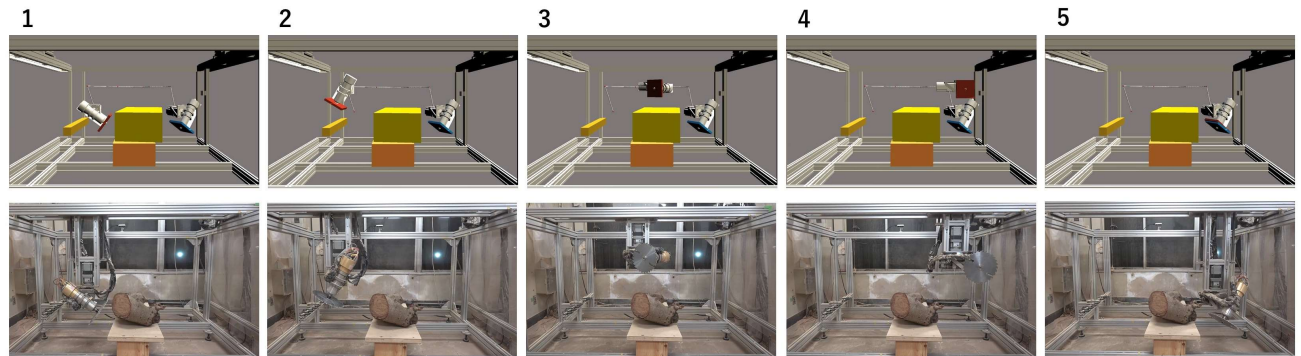


図11. 不整形ワークに対する迂回シミュレーション（上段）と実機検証の様子（下段）

5. まとめ

迂回パス生成システムの実用化に向け、加工機内に設置されたワークの位置姿勢と形状を深度カメラによる三次元画像計測から推定する手法について提案を行い、システムへの実装を試みた。生成された迂回パスを用いた実機試験では安全かつ効率的な迂回動作が確認され、ワーク推定機能を加えた本システムの実用性を示すことができた。

一方、ワーク推定の際には表面のノイズによって誤差が生じ、実ワークよりも一回り大きい推定ワークが作成されてしまうことが確認された。適切なノイズ処理の手法に関して、今後の課題として改善に取り組んでいきたい。

【注釈】

- 注1. 任意の点群に対する凸包を作成する高速なアルゴリズム
- 注2. 与えられたすべての点を包含する最小の凸多角形

【参考文献】

- 1) 吉川恒夫, "人工技能とロボティクス", 2001.7.9、https://staff.aist.go.jp/h.arai/rsj2k_os/os_proc/yoshikawa.html, (参照 2021.9.27)
- 2) 藤岡凌司、古庄玄樹、加戸啓太、平沢岳人、深層強化学習を用いた五軸加工機の迂回パス生成システムの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp11-12.2021