

農作業支援ロボットの狭い畝間での追従のための作業員認識 —RGB-D カメラと PoseNet を用いた人の重心部の認識—

Human recognition for agricultural robots to follow worker in a narrow furrow -Recognition of center position of the body using RGB-D camera and PoseNet-

○学 荒井ルシア (筑波大) 正 萬 礼応 (筑波大)
正 大矢 晃久 (筑波大) 正 坪内 孝司 (筑波大)

Lucia ARAI, University of Tsukuba, arai-l@roboken.iit.tsukuba.ac.jp
Ayanori YOROZU, University of Tsukuba
Akihisa OHYA, University of Tsukuba
Takashi TSUBOUCHI, University of Tsukuba

This study presents an agricultural robot that follows a worker for transportation support. When the robot follows a human, who is moving between narrow furrows while harvesting, it is difficult to detect the center position of body, which is necessary for stable following, because the sensor (RGB-D camera) does not capture the entire body due to the close distance between the robot and the worker. To solve this problem, we proposed a method to set the target following point according to the observed state of the detected joints by using a deep learning model (PoseNet) that can detect the joint even from the part of the body in the RGB image. We conducted experiments in the field and confirmed that the robot could follow the human without climbing over the ridges.

Key Words: Human recognition, Agricultural robot, Human following

1. 緒言

現在の日本の農業は農業従事者の高齢化、農家数の減少、食料自給率の低迷という問題を抱えている[1]. この解決策として、近年 IoT やロボット技術による農業の機械化・自動化が注目されており、労働力不足の解消の他に生産効率の向上、人件費の削減などが期待されている。

大型の農機の導入が困難な日本特有の分散した中小規模の農場における農作業の支援を目的として、株式会社 DONKEY の小型多機能ロボットや、農作業管理システムによるスマート農業システムが提案されている[2]. 本研究では、図 1 に示すように、狭い畝間での収穫物の運搬支援などのために、作業員を検出して、一定距離範囲を保ちながら追従する技術が必要である。図 1 に示すように、ロボットは前方に RGB-D カメラを搭載し、作業員の検出を行う。図 2 に収穫作業時のロボット搭載 RGB-D カメラで取得した画像の例を示す。図 2 に示すように、収穫作業時には、ロボットと作業員の距離が近い場合、常に全身がカメラに映らないことや先行研究[3]のように特定の色を用いた検出手法では、照明条件によっては検出が難しい場合がある。また、先行研究[3]においては、検出した畝を回避しながら人追従を実現しているが、図 1, 2 に示すような狭い畝間では作業員に隠れて畝を検出することが難しく、誤って作業員の腕などを追従目標点と設定してしまった場合に、畝に乗り上げてしまう問題がある。そこで本研究では、RGB-D カメラを用いて、特定の色やマーカを使用せずに作業員を検出し、体の中心方向を追従目標点として取得することで、畝の認識が難しい狭い畝間においても人追従するための認識技術の開発を目的とする。

図 2 に示すように、運搬支援時には、作業員は収穫物をロボットへの積込むために、作業員とロボットの距離が近く、体の一部分しか RGB-D カメラに映らない。機械学習などを用いた人検出手法は体の大部分がカメラに映っていないと検出できないものが多い[4]. 本研究では、RGB 画像から全身が映っていない場合でも、人の検出および関節位置を取得可能な深層学習モデルを利用し、深度画像情報と対応付けてロボット座標系で作業員の関節位置を取得し、関節位置の観測状況に応



Fig. 1 農業ロボットの収穫支援の様子



(a) (b)
Fig. 2 RGB-D カメラで取得した作業中の画像

じて、ロボットが作業員の中心方向へ向かうための目標追従点を算出する方法を提案する。図 1 に示すキャベツの収穫実験に提案の作業員認識手法を適用し、有用性を検証する。

2. 関連研究

橋本ら [5] は歩行者の移動方向予測することを目的とする、頭と肩の位置から顔の向きを推定する研究を行った。まずパーティクルフィルタを用いて基幹部を追跡し、頭部、上半身、大腿から膝、膝から下の4つの部分を推測した。その後、頭部に関して、肩から頭にかけての輪郭と関節位置を点群で与え分析したモデルを用いて肩と頭の詳細な位置を推定した。両肩と頭を結んだ三角形の形から顔がどちらに向いているのかを推定可能にした。しかし、上半身が下半身の大部分が映っていないと人を検出することは困難である。

三井ら [6] は人の一部が隠れていても人の検出が出来ることを目的とする研究を行った。人の領域を6個のパーツに分け各パーツのラベルがついた一つのサンプルとして、マルチクラス検出器を構築し、パーツベースでの人検出方法を提案した。一部だけ遮蔽に隠れた場合でも人として検出が出来る。しかし、三井らの研究では遮蔽で隠された人の部位は一部でかつ狭い範囲であるため、図2のような状態では使用するのは難しい。

Dan ら [7] は深層学習を用いて、人および関節位置の取得、体のパーツごとにセグメンテーション可能な人検出フレームワークを提案した。体全体が映っていない場合でも、体をパーツごとに領域に分類することが可能である。その中で、関節を検出する学習器として PoseNet [8] が利用されている。ただし、屋外環境下で特有の姿勢で作業を行う農作業に対しての検証は行われていない。また、本研究で必要な3次元的位置を取得するためには、RGB画像と深度画像の対応をとる必要があり、ロボットの狭い畝間での追従走行のためには観測できた関節情報から作業者の体の中心位置を取得する必要がある。

3. ロボットのシステム構成と人追従処理

図1に示すように、ロボット前方にはRGB-Dカメラが搭載されている。また、ロボットは四輪独立駆動で、前後輪の操舵が可能である。

人追従のために、RGB-Dカメラを用いて作業者に対して追従目標点を算出する。そして、追従目標点に対して、ファジィポテンシャル法による走行制御[3]を適用し、追従目標点に対して一定の距離を保って追従するようにロボットの速度指令値を決定する。本研究では、RGB-Dカメラと深層学習器を用いた作業者追従のための追従目標点算出手法を提案する。

4. 提案する追従目標点算出手法

本研究では、作業者認識のための深層学習器として、全身が映っていないくとも人検出および画像上で関節位置を取得可能なPoseNet[8]を利用する。

図3にRGB-Dカメラと深層学習器を用いた作業者追従のための追従目標点算出処理のフローを示す。まず図3に示すように、RGB画像上で作業者の関節位置を取得する。次に、深度画像と対応付けて、ロボット座標系で検出した関節位置を算出する。

4.1 PoseNetを用いたRGB画像上での関節位置検出

PoseNetは、人検出および検出した人のRGB画像上で体の17個の関節を取得可能なオープンソース機械学習モデルである。また、学習器からは検出した人の信頼度スコア（以降姿勢スコアと記述）、および各関節の信頼度スコア（以降関節スコアと記述）も出力される。

本研究では、ロボットに前方に搭載されているRGB-Dカメラの実際の作業中のデータの解析から、農作業中においても比較的カメラに映っている両膝、両腰の位置情報を使用して追従目標点を算出する。

4.2 深度画像からロボット座標系での関節位置取得

ロボットの追従制御のためには、作業者の相対位置を取得する必要がある。そこで、図4に示すようにPoseNetで取得したRGB画像上での両膝、両腰の関節位置を深度画像と対応付けて、ロボット座標系での各関節の位置を座標変換により取得する。

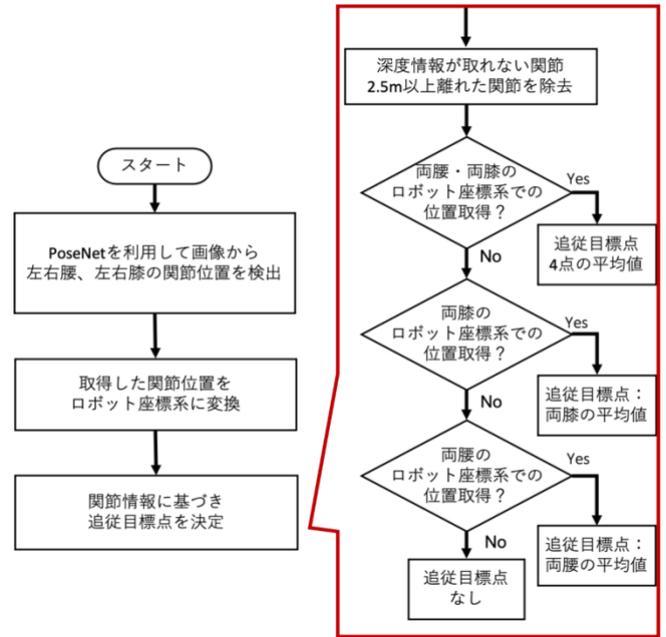


Fig. 3 提案の追従目標点算出処理

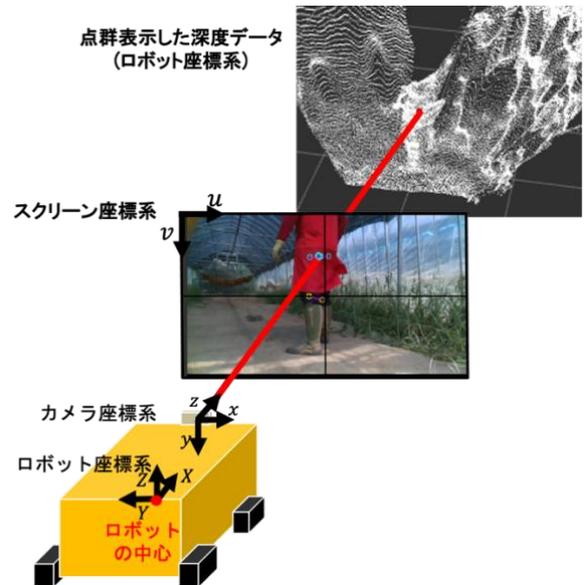


Fig. 4 ロボット座標系への変換処理

スクリーン座標からロボット座標系への変換には次式の処理を行う。

$$x = \frac{(u - c_x)z}{f_x}, \quad y = \frac{(v - c_y)z}{f_y} \quad (1)$$

$$X = z + L_{cx}, \quad Y = -x + L_{cy}, \quad Z = -y + L_{cz} \quad (2)$$

式(1)を用いて、スクリーン座標系からカメラ座標系に変換した後、式(2)を用いて、ロボット座標系に変換する。ただし、RGB画像での関節位置のスクリーン座標を u, v 、求めたいロボット座標系での3次元座標を X, Y, Z 、カメラ座標系での位置を x, y, z で表し、 z は目標点 u, v に対応する深度画像での値 [m]、光学中心の座標を c_x, c_y [pix]、画像の焦点距離を f_x, f_y [pix]、ロボットの中心からカメラまでの距離を L_{cx}, L_{cy}, L_{cz} [m] で表す。

4.3 取得した関節情報に基づく目標追従点の算出

作業者の姿勢やロボットの位置関係によって、両膝、両腰の4点の観測位置が常に取得できるとは限らない。図3に示すように、観測できた関節に基づき、作業者の体の中心位置になるように目標追従点を算出する。

両腰と両膝の4点の関節位置が取得できている場合には、4点の関節位置の平均が体の中心位置に近いので、4点の位置の平均値を追従目標点として算出する。ただし、腰の関節が一つ以上認識できていない場合には両膝の平均値を、膝の関節が一つ以上認識できていない場合には両腰の平均値を追従目標点とする。それ以外の場合は、追従目標点はなしとする。

5. 提案システムを用いた実験

5.1 検証環境

図1に示すように、提案の作業者追従目標点検出手法をロボットに適用し、キャベツの収穫作業において実機検証を行った。全長約40mの畝に対して、2回の追従実験を行った。ロボットの車幅0.6mに対して、畝間の幅は0.6~0.7m程度であった。

5.2 実験結果

図5に提案手法を用いた、RGB画像上での追従目標点の検出結果を示す。青色の円は両腰の検出位置、黄色の円は両膝の検出位置、白色の円は追従目標点を示す。また、図6に収穫時の中腰姿勢から歩行して移動している約10秒間のロボット座標系での追従目標点(X, Y, Z)の時刻歴を示す。

図5(a),(b)に示すように、作業者の下半身がカメラに写っている場合には、両腰と両膝をおおよそ正しく認識できており、追従目標点が体の中心位置に算出されることを確認した。また、図5(b)に示すように、収穫時の中腰の姿勢においても、認識が出来ていることが確認できる。また、図6に示すように、中腰から歩行している一連の作業動作に対しても、人の位置ととらえ続けることが出来ていることを確認した。また、図6のY方向の検出結果に示すように、作業者の体の中心方向を追従目標点として取得できていたため、狭い畝間に対して、2回の実験ともに、大きく畝に乗り上げることもなく追従することができた。

図5(c)に示すように、作業者が収穫物をロボットに積込む場合など、作業者がロボットに接近した際に追従目標点を算出できないことがあった。ただし、作業者とロボットが近い場合には、ロボットは移動する必要はないため、追従走行に大きく影響はなかったと考えられる。

6. 結言

本研究では、農業ロボットの狭い畝間での作業者追従のために、RGB-Dカメラと深層学習器を用いて、関節位置の観測状況に応じた追従目標点を算出する手法を提案した。提案手法をロボットに適用し、キャベツの収穫作業における運搬支援において実機検証を行った。歩行中だけでなく、収穫作業特有の中腰やししゃがみ姿勢においても、作業者の体の中心位置を追従目標点として取得できることを確認した。提案の追従目標点算出手法により、狭い畝間においても、畝に乗り上げることなく作業者追従ができることを確認した。



(a) 立位姿勢



(b) 中腰姿勢



(c) 接近時

Fig. 5 RGB画像上での追従目標点検出結果

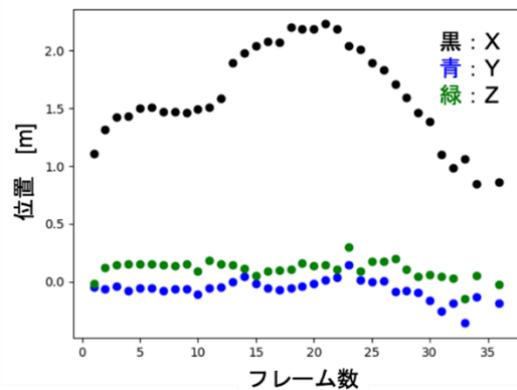


Fig. 6 追従目標点の時刻歴(10秒間)

謝辞

本研究は、株式会社 DONKEY との共同研究であり、ロボットの利用および実験環境の提供に協力いただいたことを記し、謝意を表す。

参考文献

- [1] 農林水産省: “農林水産基本データ集”, <https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/>, (アクセス 2019.5).
- [2] 三輪 泰史, 井熊 均, 木通 秀樹: “アグリカルチャー4.0 の時代 農村DX革命”, 日刊工業新聞社, 2019.
- [3] 萬礼 応, 石上 玄也, 高橋 正樹: “農作業支援ロボットの畝間人追従走行”, 第 62 回自動制御連合講演会, 2019.
- [4] M. Wang, J. Tighe, D. Modolo: “Combining detection and tracking for human pose estimation in videos”, CVPR 2020.
- [5] 橋本 潔, 加賀屋 智之, 片岡 裕雄 et al.: “姿勢変動を考慮した基幹部位追跡と肩位置推定-単眼カメラからの3次元姿勢推定に向けて-”, 画像の認識・理解シンポジウム, pp.618-674, 2011.
- [6] 三井 相和, 藤吉 弘直: “Randomized Trees を用いたパーツベースによる人検出法”, 動的画像処理実利用可ワークショップ (DIA), Vo.12, pp.1-6, 2011.
- [7] Dan Oved: “Introducing BodyPix: Real-time Person Segmentation in the Browser with TensorFlow.js”, <https://medium.com/tensorflow/introducingbodypix-real-time-person-segmentation-in-the-browser-with-tensorflowjs-fl948126c2a0>, 2019, (accessed 2020.7).
- [8] Dan Oved: “Real-time Human Pose Estimation in the Browser with TensorFlow.js”, <https://medium.com/tensorflow/real-time-human-pose-estimation-in-the-browser-with-tensorflow-js-7dd0bc881cd5>, 2018, (accessed 2020.10).