

1. まえがき

近年、農業就業者数の減少及び高齢化が問題となっている。農林水産省の調べによると平成12年の農業就業人口は389.1万人であり、そのうち205.8万人が65歳であった[1]。一方、平成29年の農業就業人口は181.6万人であり、そのうち65歳以上の人数は120.7万人であった[2]。両者を比較すると農業就業人口は46.7%まで減少している反面、高齢者の占める割合は13.6%増加している。また農林漁業関係者の72.2%が働ける間はいつまでも働くつもりと答えている。[3]しかしながら、農業就業者が引退する理由には、身体の衰えや怪我によるものが大部分を占める。故に引退につながる作業の補佐、重労働を代替する機材の導入が重要であると言える。

農業において重労働とされる作業の内、拘束時間が最も長い作業は収穫である。そこで本研究では収穫作業の内、作業者の腰に特に負担のかかる収穫コンテナの回収の補助を目的とした自動回収システムを提案する。本システムはRealSense D435で取得した画像から収穫コンテナの情報を機械学習によって抽出し、収穫コンテナの位置・姿勢を推定する。その後、ロボットの経路作成及び移動制御を行い、把持によりコンテナを回収する。これら一連の処理の実機実験を行い、本システムの有効性を示す。

2. 双腕アームロボットの概要

Fig. 1に双腕アームロボットの全体像を示す。本研究のコンセプト図をFig. 2に示す。本研究のシステムではまずRealSenseD435を用いてRGB画像を取得し、機械学習モデルを用いてRGB画像内からコンテナを検出し、検出された領域内の深度値を用いてコンテナの位置姿勢を推定する。推定結果に応じたコンテナ回収のための経路計画及び移動制御を行い、ロボットがコンテナに接近すると把持制御に移行する。把持制御ではARマーカーを用いて位置姿勢を推定した後、コンテナを把持し持ち上げる。

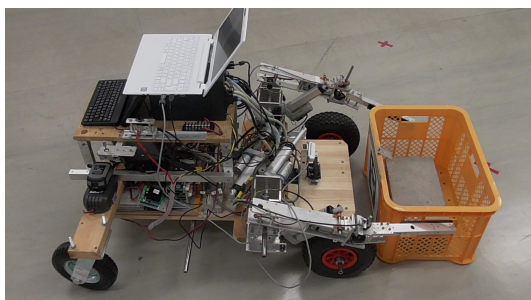


Fig. 1 双腕アームロボットの外観

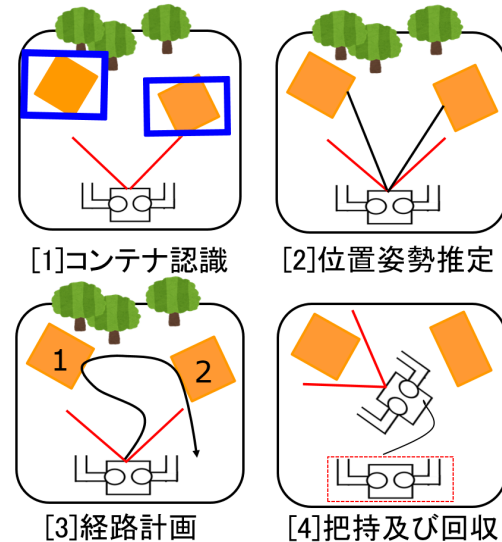


Fig. 2 コンセプト図

3. コンテナの姿勢推定

3.1 RealSense D435 によるデータの取得

RealSense D435を基準に水平方向を x 軸、垂直方向を y 軸、奥行き方向を z 軸と座標系を定義する。コンテナの姿勢 (x_c, z_c, θ_c) の定義をFig. 3に示す。角度 θ_c [deg]はRealSense側から見えるコンテナ側面と x 軸のなす角度、位置 (x_c, z_c) [m]はRealSenseD435と同じ高さのコンテナ側表面の中心位置と定義する。コンテナの姿勢推定のため、RealSense D435を用いてコンテナの位置データを取得する。取得方法の流れを以下に示す。また取得時のRealSense画面をFig. 3に示す。

1. RealSense D435を用いて同フレームのRGB画像と深度値画像を取得する
2. 機械学習を用いてRGB画像(640×480[pixel])上におけるコンテナの存在範囲(left, top, right, bottom)を取得し、
3. コンテナ存在範囲のうち、 $480 - \frac{top - bottom}{2}$ の位置データ (x, z) を D_0 として取得

$$D_0 = \{(x_{01}, z_{01}), \dots, (x_{0N_0}, z_{0N_0})\}$$

ただし D_0 の各点は x, z 座標からなる2次元データである。

3.2 姿勢推定

位置データ D_0 の内、深度最差点の座標を $P = (x_P, z_P)$ とし、最差点から左側の深度最大点を Q と

Table 1 角度推定結果

設定角度 [deg]	0	15	30	45	60	75
推定角度 [deg]	7	27	16	28	64	69
	10	12	17	34	66	60
	8	22	21	38	72	67
	12	26	43	29	45	67
	11	10	22	41	47	67
最大絶対誤差 [deg]	12	12	14	17	17	15

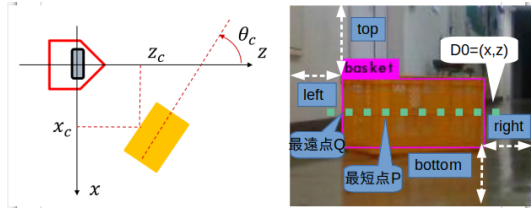


Fig. 3 座標系の定義及び位置データ取得

する。点Pを通り、RealSenseと平行な直線と点QPを直線近似した直線 $z = a_1 + a_0x$ の成す角度 θ は

$$\theta = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + (a_0 - a_1)^2}} \left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$$

で算出される。1にコンテナを0~75[deg]の範囲で15[deg]ずつ設置したときの姿勢推定の誤差を示した。

4. 目標地点への走行制御

ロボットの目標座標と姿勢 (x_r, z_r, θ_r) は、コンテナ位置 (x_c, z_c) 、ロボットの初期姿勢 $S(x_0, z_0, \theta_0)$ と終点姿勢 $F(x_f, z_f, \theta_f)$ を繋ぐ移動経路を3次補間[5]を用いて作成する。式(1)の b_0 から b_3 の係数は連立方程式(2)から導出する。

$$x(z) = a_0 + a_1z + a_2z^2 + a_3z^3, \quad \theta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{dx}{dz} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_0 = a_0 + a_1z_0 + a_2z_0^2 + a_3z_0^3 \\ x_f = a_0 + a_1z_f + a_2z_f^2 + a_3z_f^3 \\ \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0\right) = a_1 + 2a_2z_0 + 3a_3z_0^2 \\ \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta_f\right) = b_1 + 2a_2z_f + 3a_3z_f^2 \end{cases} \quad (2)$$

ロボットの速度V, 旋回角速度は以下ようになる。

$$V = \frac{\pi z_f}{2t_f} \sqrt{1 + \left(\frac{a_2^2}{3a_3}\right)^2} \quad (3)$$

$$\omega = \dot{\theta} = -\frac{d}{dt} \frac{dx}{dz} \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{dx}{dz}\right)^2} \right) \quad (4)$$

これらの式を用いて3次補間経路をロボットが移動することが可能である。

5. 実験と考察

センサに対して-75~75[deg]の範囲でランダムな位置にコンテナを設置し、経路作成及び把持制御の実

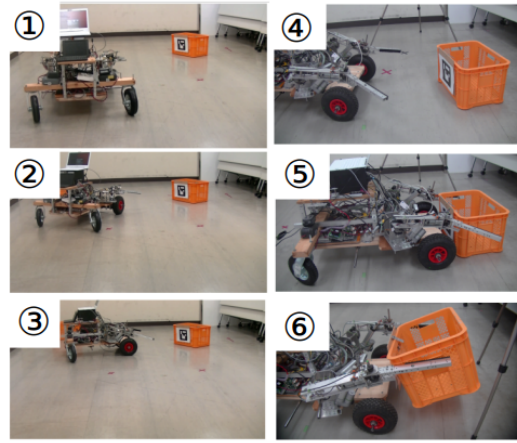


Fig. 4 移動制御及び把持制御実験

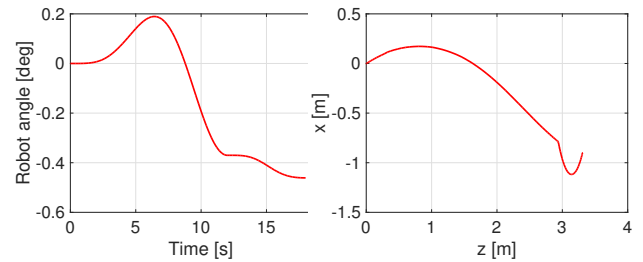


Fig. 5 車体角度

Fig. 6 移動経路

機実験を行った。Fig. 4中の①②③に移動の様子を、④⑤⑥に把持姿勢への移動の様子を示す。実験では実測角度-47[deg]のところ、推定角度は-41.12[deg]となり、最大誤差は5.78[deg]となった。xz平面でのコンテナの輪郭は正確な矩形ではないため10[deg]前後の誤差が生じてしまう。Fig. 6を見ると二度目の姿勢推定でコンテナの正面まで近づいていることがわかる。ARマーカーを確実に見つけるためには2[m]圏内に接近する必要がある。絶対角度誤差が20[deg]以下であればコンテナに近づることができることから、自動回収制御に問題はないと言える。以上の結果より、実験で角度推定から把持までの制御ができていたことが確認できた。

6. まとめ

本研究では、収穫作業者の腰への負担を軽減するための農作業支援システムとして双腕アームロボットでの収穫かごの自動回収制御の構築を行った。実機実験でコンテナ回収までの一連の動作をロボットが自動で行うことができることを証明し、システムの有効性を示した。

参考文献

- [1] 農林水産省(2) 農業就業者の動向: http://www.maff.go.jp/wpaper/w_maff/h23_h/trend/part1/chap3/c3_3_02.html
- [2] 農林水産省: 農業労働力に関する統計: <http://www.maff.go.jp/tokei/sihyo/data/08.html>
- [3] 農林水産省: (5) 高齢農業者の活動状況: http://www.maff.go.jp/wpaper/w_maff/h21_h/trend/part1/chap3/c3_11.html
- [4] Joseph Redmon, Ali Farhadi, YOLOv3: An Incremental Improvement arXiv:1804.02767, 2018.
- [5] 中野栄二, 小森谷清ら: 大学院情報理工学高知能移動ロボティクス, 講談社, 2014