ノート

ロボットを用いたパレタイジング作業の自動化

木嶋　祐太*　長谷川　直樹*

Development of Automated Palletizing Tasks Using a Robot

KIJIMA Yuta* and HASEGAWA Naoki*

1. 緒　　言

パレタイジング作業は製品や荷物をパレットに積み重ねるプロセスであり，工場や倉庫で広く行われている。パレタイジング作業は手間がかかるだけでなく，従業員に高い身体的負荷をかけてしまう作業となっている。

近年普及し始めている協働ロボットは人間と同じ作業空間で安全に作業できるように設計されていおり，パレタイジング作業において，人と協働してその作業の負荷を軽減させることができると期待される。

本研究ではロボットを用いてパレタイジング作業を自動化するために必要な要素技術を開発した。その際，なるべく安価な設備で実現するために単眼画像による 3 次元位置計測も実施した。

2. 問題設定

パレタイジング作業を自動化した場合の従業員の想定作業を表 1 に示す。これを実現するためには従業員が運んできたコンテナの正確な位置をロボットが把握する必要がある。特に収納場所でコンテナを積み重ねる際に，コンテナを把持した位置がずれていると，図 1 のように積み重ねに失敗する。本研究ではこの積み重ねに必要な位置精度は±2mm 程度である。ロボットがこの精度で従業員が運んできたコンテナの位置を把握することがこの研究の目標である。

* 下越技術支援センター

3. 開発したシステム

本研究のロボットシステムは図 2 のようにロボットハンドに取り付けたセンサでコンテナの位置を把握する。ロボットハンドにセンサを取り付けているため，収納場所のコンテナの位置も把握できる。コンテナを積み重ねるときは，収納場所のコンテナの位置を計測し，その上に運んできたコンテナを重ねる。

表 1　想定作業

①　従業員が台車でコンテナを運ぶ
②　従業員が開始ボタンを押す
③　ロボットがコンテナの位置を把握し，一番上のコンテナを把持
④　収納場所にコンテナを運ぶ
⑤　収納場所にコンテナがあった場合はその上に積み重ねる
⑥　運んできたコンテナのすべてがなくなるまで繰り返す

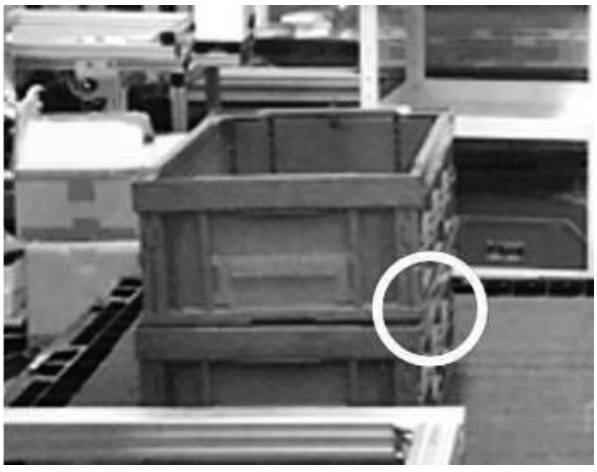


図 1　コンテナの積み重ね失敗

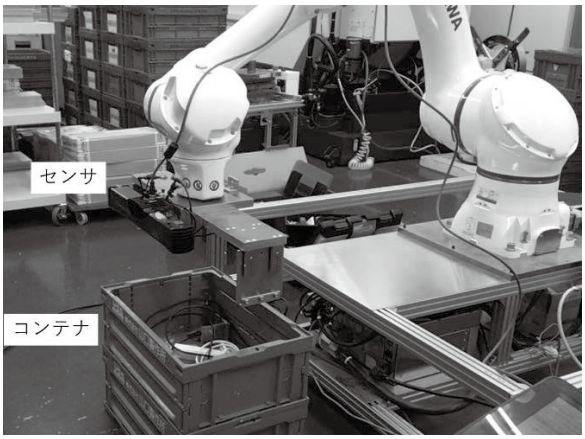


図 2　ロボットシステム

表 2　センサ

センサ	データ形式	価格
Photoneo 社 PhoXiScanner	点群	高価
Intel 社　RealSense	点群	安価
Intel 社　RealSense（Web カメラで良い）	画像	安価

システムに使用したセンサを表 2 に示す。取得するデータ形式が点群の場合は点群を用いて位置を検出し，画像の場合は単眼画像を用いて位置を検出する。

4.　ハンドアイキャリブレーション

センサで検出したコンテナをロボットで把持するためには，センサの座標系をロボットの座標系に変換する必要がある。座標変換は図 3 に示すように，座標系 1 が座標系 2 に一致するような回転と平行移動の変換パラメータを用いて行う。

センサはロボットハンドに取り付けているので，この変換パラメータはロボットの姿勢によって変わってしまうが，今回のロボットシステムには ROS[1)](Robot Operating System)を用いているため，図 4 のように仮想的に設定されたセンサ座標系からロボット座標系への変換パラメータは ROS によって計算をすることができる。

ハンドアイキャリブレーションでは仮想的なセンサ座標系と実際に取り付けたセンサ座標系を変換するパラメータを求める。固定したマーカー（AR マーカーなど）をロボットを動かしながら撮影することで，センサ座標系におけるマーカーの位置を複数計測する。その結果を用いて 6 自由度の変換パラメータと 3 自由度のロボット座標系におけるマーカーの位置を最小二乗法で計算することができる。

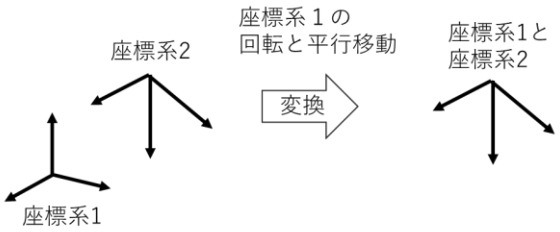


図 3　座標系の変換

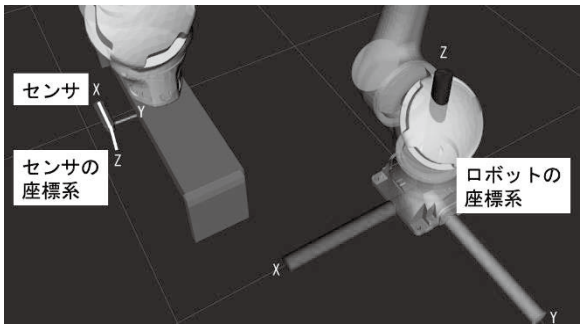
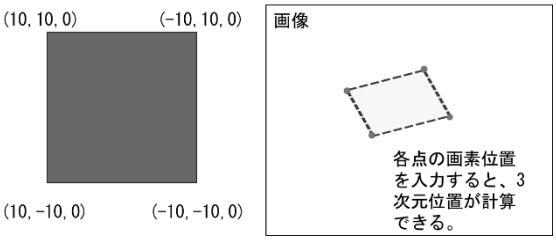


図 4　ROS による仮想的な座標系



(a) 検出する物体　　(b) 撮影した画像

図 5　solvePnP

5.　点群によるコンテナの位置検出

点群によるコンテナの位置検出は 2021 年度の研究 [2)]とほぼ同じ方法である。DNN(Deep Neural Network)による大まかな位置検出は実施せず，点群の処理のみによって位置を検出した。

6. 単眼画像によるコンテナの位置検出

本研究で位置検出をするコンテナは形状が一定である。その場合は単眼画像で 3 次元位置や向きを計算することができる。OpenCV[3](Open Source Computer Vision Library)の solvePnP 関数に，その物体の特徴点の 3 次元位置，特徴点の画素位置，カメラパラメータを入力するとその物体の 3 次元位置と向きが出力される。例えば図 5(a)に示す正方形の 4 隅を特徴点とした場合，それに対応する画素位置を用いて，図 5(b)のように 3 次元位置・向きが計算される。

コンテナの 4 隅を特徴点とすれば，コンテナの位置検出はコンテナの 4 隅の画素を検出する問題に帰着する。表 3 の手順でコンテナの 4 隅の画素の検出を実施した。表 3①のセマンティックセグメンテーションには DeepLabv3[4]を，③の物体検出には YOLOv8[5]を用いた。このプログラムに図 6(a)の画像を入力すると，図 6(b)の画像が出力された。4 隅の位置に丸が表示されており，4 隅の画素位置が検出できていることが確認された。

6.1 シミュレーションによる学習画像作成

DeepLabv3 や YOLOv8 は DNN であるため教師あり学習をする必要がある。汎用性を高めるため図 7 のようなシミュレーションにより作成した約 1 万枚の学習画像により事前に学習を行ってから，実写の画像で学習した。

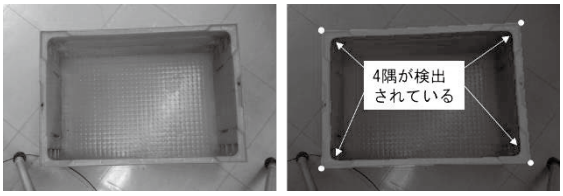
このシミュレーション画像による学習の効果を評価した。実写の画像 30 枚のうち 10 枚を学習画像として，交差検証を実施した。評価指標については，DeepLabv3 が（1 – DiceLoss[6]）の値，YOLOv8 がシステム [5]が出力した mAP50-95 の値である。3 回の交差検証の平均値を表 4 に示す。シミュレーション画像を使用したほうが良い結果となった。

7. コンテナ検出の評価

コンテナを定位置に置いて，センサを動かしながらコンテナを測定し，測定結果のずれを評価した。コンテナは常に同じ位置にあるので，検出が正しければセンサを動かしても同じ位置に計測されるはずである。基準のセンサ位置に対して，高さ Z を 0cm，5cm，10cm，15cm，20cm ずらし，XY をそれぞれ±5cm ずつずらした 5×9 の 45 点にセンサを移動してコンテナ

表 3　コンテナの 4 隅の画素検出手順

① セマンティックセグメンテーションによるコンテナの検出
② ハフ変換による直線検出を用いて長手方向が水平になるように画像を回転
③ 物体検出による 4 隅の画素の検出



(a) 入力画像　　(b)出力画像

図 6　コンテナ 4 隅の検出

図 7　シミュレーションによる画像生成

表 4　交差検証の平均値

	シミュレーション画像の使用	
	使用しない	使用する
DeepLabv3	0.925	0.948
YOLOv8	0.601	0.632

表 5　コンテナ検出のずれ量

高さ	PhoXi Scanner	RealSense 点群	RealSense 画像
0 cm	1.5 mm	3.3 mm	1.0 mm
5 cm	1.0 mm	2.9 mm	1.5 mm
10 cm	1.0 mm	3.6 mm	2.3 mm
15 cm	1.1 mm	5.2 mm	2.9 mm
20 cm	1.3 mm	5.6 mm	3.8 mm

の位置を計測した。コンテナの基準位置は高さ 0cm で XY をずらして計測した 9 点の平均値とし，各計測点では基準位置からのずれを求めた。各高さで XY をずらして 9 回測定したずれ量の平均値を表 5 に示す。

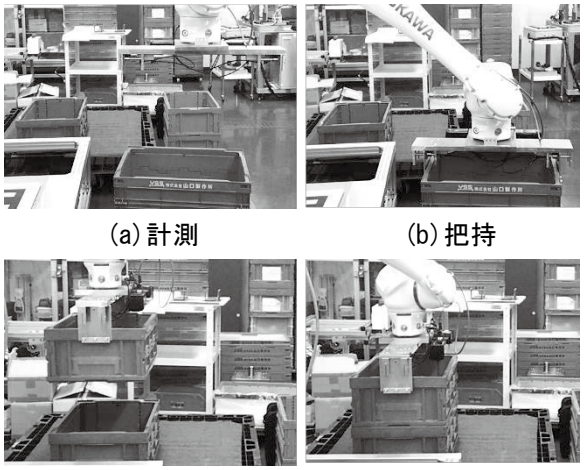
PhoXiScanner が最もずれが少なかったが，その他のセンサも mm 単位のずれ量で検出できていた。どのセンサもセンサとコンテナの距離が変わるとずれが大きくなる傾向があった。精度よく計測するためには常に同じ距離で計測することが重要であった。

8. コンテナの積み上げ

コンテナの積み上げを実施した。センサとコンテナが同じ距離になるように計測すれば，表 1 のどのセンサを使用しても図 8 のようにコンテナの把持，コンテナの積み上げができることを確認した。RealSense の点群はずれが大きめであったが，把持の方向や Z 方向のずれがキャンセルされたため積み上げができたと思われる。

9. 結　　言

(1) パレタイジング作業自動化のため，ロボットハンドにセンサを取り付け，コンテナの積み上げを実施するシステムを開発した。
(2) 安価なセンサを用いてもコンテナの積み上げができることを確認した。
(3) 単眼画像のみでコンテナの 3 次元位置を検出する方法を開発した。
(4) シミュレーションにより画像を作成することで DNN 学習の効率を上げることができた。



(a) 計測　　(b) 把持

(c) 移動　　(d) 積み上げ

図 8　コンテナの積み上げ

参考文献

1) https://ros.org/, ROS 公式ウェブサイト, 2024 年 3 月 1 日.
2) 木嶋祐太ほか, “ディープラーニングを利用したバラ積み部品のピッキングシステムの開発”, 工業技術研究報告書, No.51, 2021, pp.9-14.
3) https://opencv.org/, OpenCV 公式ウェブサイト, 2024 年 3 月 1 日.
4) Liang-Chieh Chen, George Papandreou, Florian Schroff, Hartwig Adam, “Rethinking Atrous Convolution for Semantic Image Segmentation”, arXiv（2017）, https://arxiv.org/pdf/1706.05587.pdf, 2024 年 3 月 1 日
5) https://github.com/ultralytics/ultralytics, YOLOv8, 2024 年 3 月 1 日.
6) Milletari, Fausto, Nassir Navab, and Seyed-Ahmad Ahmadi, “V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation”, International Conference on 3D Vision（3DV）, 2016, pp.565-571.