

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：33919

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19830

研究課題名（和文）接地面判別による単純形状物体の姿勢推定

研究課題名（英文）Simple-shaped object pose estimation based on the grounding face

研究代表者

田崎 豪（TASAKI, Tsuyoshi）

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：40824660

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：小売店の省力化が期待されており、コンビニ商品整理作業ロボットの性能を競う世界大会まで行われている。しかしコンビニ商品のような単純形状物体は、形状特徴が少なく、整理に必要な商品姿勢の推定が困難であった。本研究は、AIの判別能力の高さに着目し、単純形状物体のどの面が棚に接地しているかを判別する。接地面を先に判別することで、三次元の姿勢推定問題を、棚上の一次元の姿勢推定問題として簡単化し、高精度に解く新手法を開発した。AIの学習に使用した商品について、学習時と異なる姿勢を推定させたところ、誤差5度以内で姿勢推定できた割合は99.9%となり、従来法より71.1ポイント向上することが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物体の姿勢推定を高精度化できたことで、ロボットによる商品整理作業の実現可能性を示し、労働力不足という社会問題を解決に近づけることができた。さらに、三次元的な物体姿勢を、物体の接地面と接地面上の一次元の回転で表現することで、姿勢推定精度が向上するという知見は、他の物体姿勢推定手法にも応用できる。したがって、本研究で得られた知見は、物体姿勢推定という学術分野の発展に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：There is a demand for robots in retail stores to automate the display of goods. However, most goods in retail store have few shape features. Therefore, it is difficult for conventional methods to estimate poses of the goods. This study proposes a new method to estimate the grounding face of the good. The method simplifies the three-dimensional pose estimation problem into the one-dimensional pose estimation problem to estimate the yaw angle on the grounding face. The ratio of estimating the pose with an angle error of 5 degree is 99.9%, which is 71.1 pt higher than that of a conventional method.

研究分野：ロボットビジョン

キーワード：姿勢推定 インスタンスセグメンテーション

1. 研究開始当初の背景

小売店の労働力不足を補うため、コンビニ商品整理の性能を競うロボットの世界大会も実施されるようになってきた。商品の整理作業を自動化するためには、整理する商品の位置姿勢を正確に推定する必要がある。しかし、コンビニ商品は、四角柱や三角柱、円柱など、比較的単純な形状が多く、図1のように、距離センサで取得した物体形状から姿勢を推定する従来法は、推定誤差が大きくなるが多かった。そこで、世界大会上位チームは、単純形状物体の姿勢を正確に推定できるように、図2に示すマーカーを商品に正確に貼付し、カラー画像と距離画像を取得できるRGBDカメラで商品を見下ろして、姿勢推定をしていた。

しかしマーカーは、雑な貼付では誤差が生じ、商品に直接印刷しても包装の歪みで性能が出ないこともあり、デザインを制約してしまう。実用化を考慮すると、マーカーを使用せず、単純形状物体の位置姿勢を推定する必要がある。



図1: 単純形状物体の姿勢推定の難しさ



図2: 上位3チームが利用したマーカー

2. 研究の目的

本研究は、商品に姿勢推定用のマーカーを貼付することなく、高精度に姿勢推定を行い、商品整理作業を自動化するロボットの開発を目的としている。整理作業を頻繁に行うコンビニやスーパーマーケットの商品は四角柱や三角柱、円柱などの単純形状物体が多いため、単純形状物体で姿勢推定を行うことが課題となる。

3. 研究の方法

(1) 単純形状物体の接地面判別に基づく姿勢推定手法の開発

近年のAI技術の発展により、物体位置の切り出しは高精度になってきた。しかし、単純形状物体の姿勢推定についてはAIでも、精度が低い。本研究では、三次元の姿勢3自由度を一度に推定していることが、低精度の原因であると考えた。そこで、図3のように物体のどの面が棚に接地しているか、を先に判別することで、推定すべき姿勢の自由度を減らし、姿勢推定精度を向上する新手法を開発する。

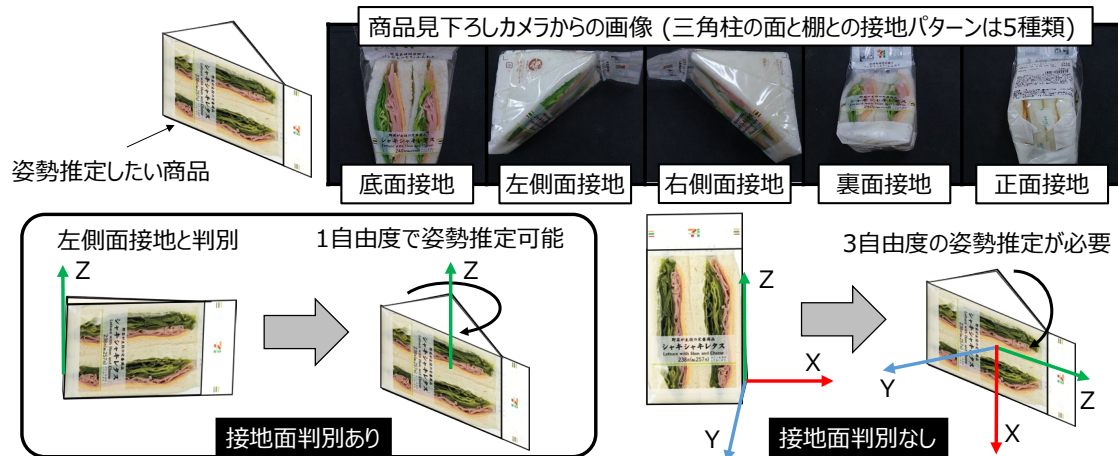


図3: 接地面判別結果に基づく姿勢推定

(2) 高速な物体位置切り出し手法の開発とロボットによる商品整理動作実現

高精度に画像中の物体位置を切り出す手法は増えてきたが、ロボットに搭載する手法としては遅く、消費メモリも大きいという問題がある。従来手法では、画像中のすべての商品を切り出すため、処理に時間がかかる。そこで本研究は、一般的なロボットアームが整理できる商品対象は一つであることに着目した。切り出しやすい商品だけに集中して物体位置を切り出すことで、高速かつ低消費メモリで動作する新手法を開発する。開発した切り出し手法で物体位置を特定

し、姿勢推定することで、物体を整理するロボットを実現する。

4. 研究成果

(1) 接地面判別により単純形状物体の姿勢推定精度が向上することを実証

接地面判別によって姿勢推定精度が向上することを確認するため、接地面を使用する新手法 (PYNet) と従来高精度な姿勢推定ができるとされていた DenseFusion<引用文献①>とで比較を行った。両手法とも AI ベースの手法であるため、学習が必要となる。学習に使用した商品を図 4 に示す。コンビニ商品を想定して、四角柱と三角柱と円柱の商品を利用した。

比較は 2 種類のテストデータで行う。1 つ目のテストデータは、学習に使用した既知物体を使用し、学習には使用しなかった姿勢を撮像したときのカラー画像と距離画像のデータである。2 つ目のデータは、学習に使用していない未知物体を撮像したときのカラー画像と距離画像のデータである。既知物体のテストデータと未知物体のテストデータについて、姿勢推定精度を比較した結果をそれぞれ図 5 と図 6 に示す。図 5 と図 6 の縦軸で示されている正解率は、横軸で示した許容誤差以内で姿勢推定できた割合である。

既知物体の場合も、未知物体の場合もすべての単純形状物体で PYNet の正解率が DenseFusion を上回った。特に形状特徴が少ない四角柱、円柱についての差は大きい。テストした物体は形状が単純であるため、DenseFusion は上下反転や左右反転してしまう姿勢推定誤差が多かった。しかし PYNet は、接地面判別を行うことで、姿勢推定が困難な単純形状物体について、高精度に姿勢推定できることがわかった。既知物体の場合、許容誤差 5 度以内での四角柱、三角柱、円柱の全商品における正解率の平均は 99.9% となり、DenseFusion より 71.1 ポイント向上することが確認できた。



図 4: 学習に使用した商品

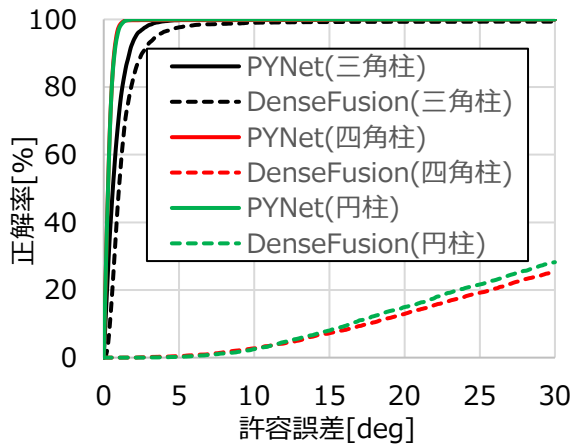


図 5: 既知物体の姿勢推定精度

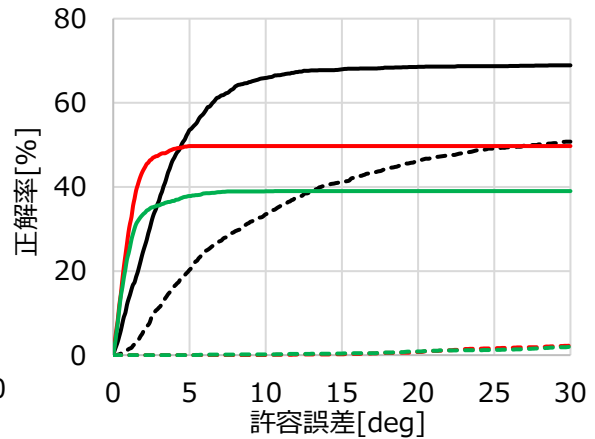


図 6: 未知物体の姿勢推定精度

(2) 検出対象を絞ることで高速に商品切り出しができることを実証

画像内からの商品検出対象を 1 つの商品に集中することで、切り出しが高速にできることを実証するため、従来よく使用されていた物体切り出し手法である MaskRCNN<引用文献②>と、開発した手法 (SISD) との比較を行った。煩雑に置いたコンビニ商品を切り出した際の処理にかかった時間と、実行時に必要となるメモリサイズ、切り出し性能を表す IoU を比較した。MaskRCNN は複数の物体を切り出すため、切り出した物体の中で MaskRCNN が最も確信度を高くしている商品で IoU を算出した。比較の結果を表 1 に示す。計算時間は Nvidia 社の GTX1080Ti を使用して求めた。

表 1 従来法との比較結果

手法	計算時間 [ms]	メモリサイズ [MB]	IoU [%]
MaskRCNN	126	256	81.4
SISD	93.9	29.8	93.5

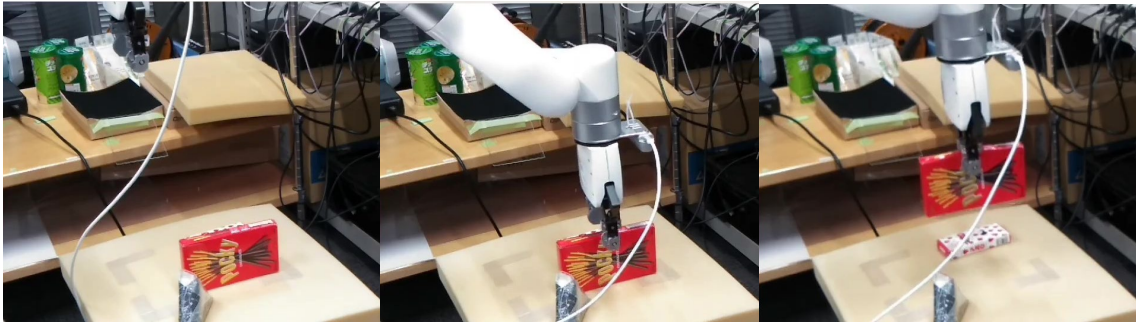


図 7: ロボットによる商品把持の様子

SISD と PYNNet をロボットに組み込んで、ロボットによる整理作業を実施した。カメラ画像から SISD で商品領域だけを切り抜く。切り抜かれた商品領域を PYNNet の入力として姿勢を推定し、ロボットのハンド姿勢を制御したところ、図 7 のように商品を把持して、整理することができた。

(3) 今後の展望

接地面推定を行うことで、従来一般的に使用されていた姿勢推定手法よりも高精度に単純形状物体の姿勢を推定し、ロボットで把持することができた。商品の入れ替えが少ない現場であれば、応用できる可能性も高いため、今後は実際にコンビニ等で使用されている棚を使用して動作検証を行う。

しかし、ロボットが学習していない未知物体に対してはまだ精度が低い。単純形状の場合、形状情報は未知物体でも既知物体でも変わらないため、精度劣化の原因はパッケージデザインの問題である。したがって現在は、姿勢を維持したまま、未知物体のデザインを既知物体のデザインへ変更する技術の開発も進めている。デザイン変換も利用することで、未知物体の姿勢推定についても高精度化していきたい。

<引用文献>

- ① C. Wang, D. Xu, Y. Zhu, R. Martin-Martin, C. Lu, L. Fei-Fei, and S. Savarese, “DenseFusion: 6D object Pose Estimation by Iterative Dense Fusion,” International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, pp. 3343-3352.
- ② K. He, G. Gkioxari, P. Dollar and R. Girshick, “Mask R-CNN,” International Conference on Computer Vision, 2017, pp. 2980-2988.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Matsumoto Kazuhisa, Ibuki Yusuke, Tomikawa Ryusei, Kobayashi Kazufumi, Ohara Kenichi, Tasaki Tsuyoshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Selective instance segmentation for pose estimation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 890 ~ 899
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2022.2104621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujita Kohei, Tasaki Tsuyoshi	4. 巻 35
2. 論文標題 PYNet: Poseclass and Yaw Angle Output Network for Object Pose Estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 8 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2023.p0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kazuhisa Matsumoto, Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Relationship between Object Pose Estimation Accuracy and Object Labeling
3. 学会等名 7th International Conference on Advanced Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井 悠一, 田崎 豪
2. 発表標題 推定画像と実画像の短冊区間比較を利用した整理対象商品検出
3. 学会等名 令和3年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊吹 侑祐, 田崎 豪
2. 発表標題 エンコーダ-デコーダ構造と全結合層による演算量の少ない選択的インスタンスセグメンテーション
3. 学会等名 SICE中部支部シンポジウム&若手研究発表会2020
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊吹 侑祐, 田崎 豪
2. 発表標題 エンコーダ-デコーダ構造による高速な選択的インスタンスセグメンテーション
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本 和久, 田崎 豪
2. 発表標題 適切なラベリング方法による物体の姿勢推定向上
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rikuto Yamada, Koki Yamamori, Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Pose Estimation of a Simple-Shaped Object Based on PoseClass Using RGBD Camera
3. 学会等名 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Champion's Challenge for Future Convenience Store Robots
3. 学会等名 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shirai Yuichi, Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Disorganized Product Detection by using Ordered Window
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Fujita, Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Improving the Success Rate of Pose Estimation of Objects by Image Translation for Product Display
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noritaka Hiiro, Tsuyoshi Tasaki
2. 発表標題 Selective instance segmentation by using Mutual loss
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日色 紀貴, 田崎 豪
2. 発表標題 物体把持のための相互損失を用いた選択的インスタンスセグメンテーション
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田 幸平, 田崎 豪
2. 発表標題 ロボットによる商品陳列のための画像変換を用いた未知物体の姿勢推定
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦 龍一, 藤田 幸平, 田崎 豪
2. 発表標題 姿勢に対する自由度を与えた無線吸着器による把持可能範囲の拡大
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日色 紀貴, 田崎 豪
2. 発表標題 相互損失を用いた選択的インスタンスセグメンテーション
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白井 悠一, 田崎 豪
2. 発表標題 短冊区間を用いた実画像と推定画像の比較による整理対象商品検出
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田 幸平, 田崎 豪
2. 発表標題 商品陳列に向けた画像変換による物体の姿勢推定精度の向上
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------