

化粧用具組み立てラインにおける フィジカルAIの実装による産業用ロボットの高度化

F124607 坂田 真吾
永田研究室

1. 目的

少子高齢化による生産年齢人口の減少の影響によって、製造業における生産ラインの高度な自動化に対する必要性が益々高まってきている。特に、人の目視検査によって行われてきた製品の欠陥検出作業をAIに置き換えることや、手作業によって行われてきた製品の複雑な組み立て作業に代わる産業用ロボットを用いた自動化システム開発のニーズが高まってきている。本研究では、このような産業界ニーズに対応するための一例として、企業から提供のあった化粧用製品を対象とした「不良品仕分けロボット」と仕分け作業の後工程である「自動キャッピングロボット」の開発に取り組んだので報告する。

2. 実験方法

「不良品仕分けロボット」については、小型産業用ロボットMG400を用いて化粧用具のワークを把持し、カメラの前まで移動させ、図1に示すように120度ずつ回転させ撮影したのちに事前に学習したCNNによってリアルタイムに良品もしくは不良品かの判断を行う。本研究では製品の欠陥検出を行うCNNモデルの構築を行うMATLABと、不良品仕分けロボットの動作環境であるPython上で同じ分類性能を維持できるように相互運用のためのEXPORT/IMPORT技術について検討した。MATLAB上で構築したCNNモデルが高精度な分類性能を発揮していても、Python環境で運用した際に同じ分類性能が保持されていなければ、すなわち、同値の分類スコアが得られなければ、相互運用することが困難となる。そこで、異なるフレームワーク間でも相互運用可能な機械学習モデルを表現するためのオープンデータ形式であるOpen Neural Network eXchange (ONNX)を用いて、MATLAB上で構築したCNNモデルをONNX形式モデルにエクスポートし、Python環境にインポート後、同一の評価用データセットで分類実験を行うことで、同じ分類性能が得られる条件について明らかにした。次に「自動キャッピングロボット」については、繊維状の先端部を持つワークをキャップに装着させる作業の自動化について検討した。ロボットがワークを把持しキャップに装着させる際には、高さ方向の0.1mm単位の細かな位置調整(指示作業)が必要となり、多くの作業時間が必要になっていた。本研究では、キャップに装着する際の「カチッ」という節度ある音に注目し、装着音の検知によってロボットの押し込み動作が正常に終了できたと判断し、次のワークの処理に移ることで連続的に安定したキャッピング動作を行うことができるようになるものと期待される。

3. 結果と考察

「不良品仕分けロボット」については、MATLAB環境とPython環境でCNNの相互運用を図るために、それぞれの環境下で同一スコアを出力する必要がある。しかしながら、MATLAB環境とPython環境で同一の評価用データセットで分類精度を比較すると、精度が数%異なる結果となった。精度に差が生じた要因として画像のダウンサイジング法が挙げられる。仕分けロボットによって撮影された画像の解像度は2590×1942ピクセルであり、この画像をCNNの入力層に合わせて224×224にダウンサイジングする必要があった。ダウンサイジング法にはNearest-Neighbor, Bilinear, Bicubicがあり、それぞれの手法によってダウンサイジングされた画像は画素値レベルで異なる値を持つ。ところで、MATLABではimresize関数を、Pythonではコンピュータビジョンライブラリのcv2.resize関数と画像処理ライブラリPillowのresize関数を利用できたため、Nearest-Neighbor法を指定した上で評価用データセットの分類と、複数枚の評価用画像に対するダウンサイジング後の画像の比較を行った。その結果、MATLAB上での分類結果と、Python上での画像処理ライブラリPillowを用いた場合の分類結果が同値のスコアとなった。このとき、MATLAB上でダウンサイジングされた画像と、Python上のPillowでダウンサイジ

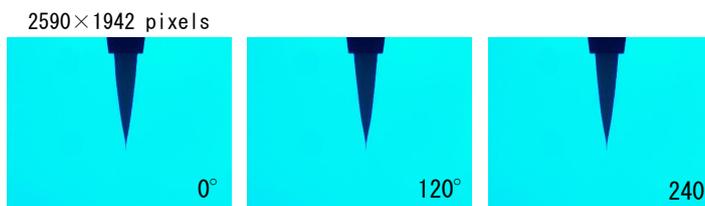


Fig. 1 Images of a cosmetic tool captured from three directions for CNN-based defect detection.

ングされた画像はピクセルレベルで一致していたものの、コンピュータビジョンライブラリのcv2.resize関数でダウンサイジングされた画像とはピクセルレベルでの値に差異が確認された。「自動キャッピングロボット」については、キャップ装着音の検知を行うために開発環境であるMATLAB上でacousticLoudness関数を用いることによりISO 532-1に定義されているloudnessで音の強さを認識できるようにした。また、Hyper CLS (HCLS)データ内で新たなステートメントCAPPINGを利用できるようにした。図2にはキャッピングタスク自動化のためのHCLSデータの先頭部分(左)と、その中のCAPPINGステートメント実行時のワークフロー(右)を示す。CAPPING実行時、loudnessの閾値と最大降下量を任意に設定することができ、今回の実験では0.1mm降下しては装着音の発生をチェックするという動作を繰り返す。設定したloudness以上の音が検知されるとキャッピング動作完了と判断し、次のワークのキャッピング処理に移る。また、キャップやワーク本体の不良により最大降下量を過ぎては装着音が発生しない場合も、それらの破損を防ぐために次のワークのキャッピング動作に移る。このようにCAPPINGステートメントの提案とその実行コードの開発により、キャップが装着される高さ方向の細かく手間のかかる教示作業を行うことなく、計40組のワークとキャップのキャッピングタスクを安定的に行えるようになった。

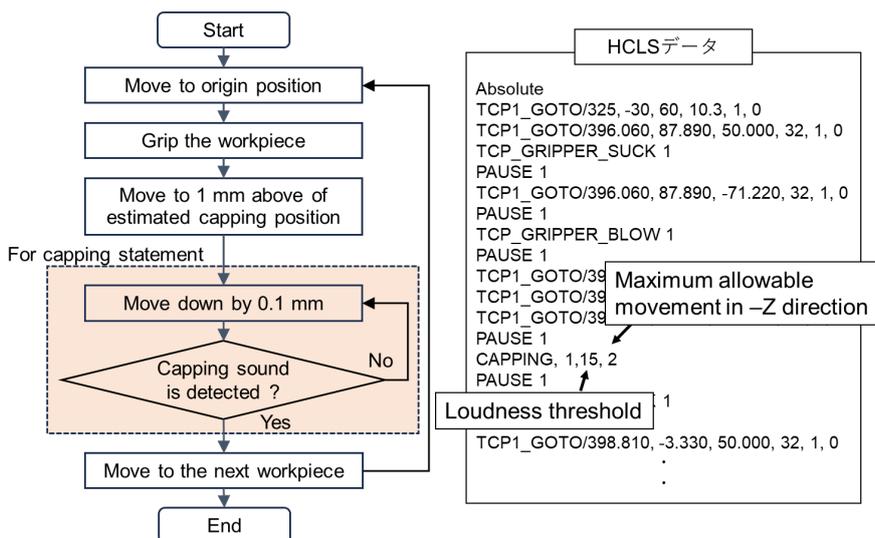


Fig. 2 Workflow of a robotic capping task for a cosmetic tool (left side) and beginning steps in HCLS data for the capping task (right side).

学会発表

- 1) 坂田, 阿部, 永田, ONNXのRuntimeモデルを用いた自動ピッキングロボットのための欠陥検出機能, 第31回 インテリジェントシステム シンポジウム FAN2023 講演論文集, Th-A3-2, 2 pages, 2023.
- 2) 坂田, 永田, 阿部, 池田, 加藤, 渡辺, Python 上で動作するピックアンドプレースロボットのためのONNX Runtime モデルを用いた欠陥検出機能, 第30回画像センシングシンポジウム(SSII2024), IS1-09, 4 pages, 2024.
- 3) 坂田, 下釜, 永田, 藤沢, 渡辺, ロボットを用いた樹脂製ワークのキャッピングタスクの自動化 産業応用工学会全国大会2025 講演論文集, pp. 95-96, 2025.
- 4) S. Sakata, F. Nagata, R. Abe, K. Watanabe, Defect Detection System for an Automatic Picking Robot Using an ONNX Runtime Model, *Procs. of The 29th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 29th 2024)*, pp. 943-946, 2024.
- 5) S. Sakata, F. Nagata, T. Ikeda, K. Watanabe, M.K. Habib, A.S.A. Ghani, Defect Detection and Its Visualization of Industrial Products Using Transfer Learning-Based CNN Models and Fully Convolutional Data Description Models, *Procs. of The 30th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 30th 2025)*, pp. 1247-1252, 2025.
- 6) S. Sakata, F. Nagata, H. Shimogama, Y. Imamura, H. Kato, T. Ikeda, A. Otsuka, K. Fujisawa, K. Watanabe, M.K. Habib, Automation of Capping Task for Resin-Molded Articles by an HCLS Data-based Industrial Robot, *Procs. of The 31st International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 31st 2026)*, 5 pages, 2026.

Abstract

A CNN model built on MATLAB is exported to an ONNX (Open Neural Network eXchange) model to use it for the defect detection of a picking robot running on Python environment. The effectiveness and validity are shown through classification experiments of a peg-in-hole task using a small-sized industrial robot incorporated with ONNX models. Promising evaluation results to achieve the compatibility and interoperability of CNN models between MATLAB and Python have been shown through the classification experiments using the developed two user interfaces for MATLAB and Python. Also, we developed an automation system for the capping task of a cosmetic tool, in which completion of each capping motion is identified by detecting the clicking sound like “Kacchi”. By simply describing CAPPING statements in HCLS data, we demonstrated the robotic system to continuously execute a stable capping task by detecting the sound of capping without requiring fine adjustments in the height direction.