

デスクトップ型多関節ロボットの高機能化のための 制御インタフェースの開発

F122601 阿部 凌真
永田研究室

1. 目的

工業製品の製造に関わる自動化ラインでは、これまでに様々なサイズの多関節型やスカラ型の産業用ロボットが導入されてきた。最近では、クリアランスの少ない細かなパーツのはめ合い作業等、これまでロボット化できず人手に頼っていた作業工程をより細分化し、小型ロボットを使って器用に行わせたいというニーズが高まっている。本研究では、国内のあるメーカから提供のあった工業製品を対象とし、単一カメラと複数のロボットにより効率的に欠陥検出と仕分けを行うためのシステムを提案し、2台のロボットによるペグインホールタスクの実験により有用性を検証する。

2. 研究内容

筆者らはこれまでに、教示作業で得られる教示点に加えてカメラコントロールと画像入力、欠陥検出のための畳み込みニューラルネットワーク (CNN)、ビジュアルフィードバック制御、複数ロボットによるシーケンス制御などの機能を記述できるHyper Cutter Location Source (HCLS) データを提案し、それぞれの機能を実現するためのソフトウェアを開発することで教示再生方式のロボットの高度化に取り組んできた。まず、図1に示すような穴径9mmのホールが15mmの間隔で100個並んでいる作業テーブルを試作した。多数の小さな樹脂製ワークを扱うペグインホールタスクでは、ワークの径と治具側のホールの径のクリアランスが0.7mm程度しかなく、図2のようなロボット座標系とワーク座標系のミスアライメントが発生するとピッキングやプレーシングを正常に行えないという問題が発生する。この症状は、二つの座標系間の相対的な位置のズレ、姿勢のズレに起因し、エンドエフェクタが作業テーブルの周辺付近にまで遠ざかるほど発生しやすくなる傾向にある。この課題を解決するためにロボット座標系とワーク座標系間のミスアライメントを考慮した教示点の自動生成について検討した。具体的には、ピッキング用およびプレーシング用の治具を構成する作業テーブルの四隅のロボット座標系における座標値 P_1, P_2, P_3, P_4 を入力するだけで、他の全てのホール中心の座標値 $[x_i, y_i, z_i]$ ($i=1, \dots, N$) を自動生成させ、GOTO文からなるHCLSデータとして出力できる教示レス化のための機能を開発した。

次に、このメーカでは小型産業用ロボットMG400を自社の製造ラインの自動化に適用したいというニーズがあり、課題の抽出と解決策の検討を行ってきた。このロボットにはDobotStudioというユーザインタフェースが提供されているものの、ティーチングプレイバック(教示再生)、Script(言語編集)、DobotBlockly(図による言語編集)といった基本機能を利用する場合や、ユーザ側でのアプリケーション開発のために公開されているDynamic Linking Library (DLL)を使った場合には1つのアプリケーションから1台のロボットしか動かすことができず、複数ロボットによるシーケンス動作や協調動作には直接応用できないという課題があった。この課題を解決するために、DLLとは別に公開されているTCP/IPプロトコルベースのAPIを用いてPython上で実行できる制御インタフェースを開発した。TCP/IP通信を用いることで複数ロボットとの高速通信を行いながら、複数ロボットの同期的な制御が可能になった。実験では、2台のロボットをそれぞれ、No. 1とNo. 2とし、長さが44mm、把持部の径が7mmで、先端部が円錐形状となった樹脂製のワークを仕分けの対象とした。また、2つの作業テーブルにはそれぞれ、良否判定に応じてワークをリリースするOK領域とNG

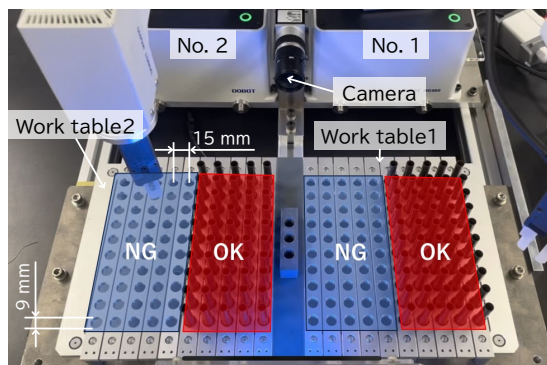


Fig. 1 Cooperative peg-in-hole task experiment using a CNN model and two robot arms controlled by the developed application.

領域を設定した. 今回は2台のロボットで単一カメラを共用できるようにロボット間にカメラを設置し, さらにワークの形状を鮮明に捉えるために撮影方向にはLEDブルーライトを照射できるようにしている.

実験のワークフローは, 2台が同時並行して動作するチームと, No. 1 のみ, あるいはNo. 2のみが動作するチームで構成しており, ワークの良品と不良品の分別の際には, 把持しているワークをZ軸回りに30度ずつ回転させながら計3回の撮影を行う. また, 良否判定のためにMATLAB上でVGG19の転移学習ベースのオリジナルCNNモデルを構築し, ロボットが動作しているPython上にこのCNNモデルをONNXコンバータを使ってインポートし, 撮影した3枚の画像を評価した. 評価実験では, 3枚とも欠陥無しの場合に良品として, 一枚でも欠陥ありの場合には不良品として出力させ, 良否判定に応じて対応するプレーシング先へのリリースを行い, 計100個のワークに対して連続して処理を行った. 2台のロボットによるペグインホールタスクの動作実験を行ったところ, 設計通りの連続動作を安定的に実行させることができた.

3. 結果

本研究では, 単一カメラと複数のロボットにより効率的に欠陥検出と仕分けを行うためのシステムを提案し, Python上でソフトウェアを開発した. 設計したHCLSデータを用いて2台のロボットを協調制御させ, PC上に実装した欠陥検出用のCNNモデルを用いることで, 円柱形の樹脂製ワークの不良品の自動分別を行いながら連続的にペグインホールタスクを実行させることができた.

学会発表

- 1) 阿部, 有馬, 清水, 永田ら, Grad-CAMによる欠陥領域の可視化性能を向上させる画像拡張法とCNNによる分類時のスコアの影響, 第28回画像センシングシンポジウム(SSII 2022)講演論文集, 4 pages, 2022.
- 2) 阿部, 永田ら, 小型産業用ロボットの機能拡張と操作環境改善のためのHyper CLSデータの提案—複数ロボットのシーケンス制御のためのHCLSステートメント—, 第40回日本ロボット学会学術講演会(RSJ 2022)予稿集, 4C3-06, 4 pages, 2022.
- 3) R. Abe, F. Nagata, et al., Proposal of hyper CLS data for industrial robots—HCLS statements for sequence control of multiple robots—, *Procs. of The 28th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 28th 2023)*, pp. 985–988, 2023.
- 4) 阿部, 永田, 坂田, 鄭, 渡辺, ロボット座標系と治具座標系のミスアライメントを考慮したHCLSデータの自動生成と小型産業用ロボットMG400のためのPLCを用いないシーケンス制御, 第31回インテリジェントシステムシンポジウム(FAN 2023)講演論文集, Th-B2-2, 3 pages, 2023.
- 5) R. Abe, F. Nagata, et al, Proposal of hyper CLS data for industrial robots—HCLS statements for sequence control of multiple robots—, *International Journal of Artificial Life and Robotics*, Vol. 28, No. 4, pp. 750–756, 2023.
- 6) 阿部, 永田ら, 単一カメラの効率的なハンドリングを用いた複数ロボットによる不良品の仕分けシステム, 第24回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(SI2023)講演論文集, 4 pages, 2023.
- 7) R. Abe, F. Nagata, et al., Automatic generation of teaching points considering misalignment between robot and work coordinate systems and sequence control for small-sized industrial robots MG400s without using a PLC, *Procs. of The 29th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 29th 2024)*, 4 pages, 2024.

Abstract

A CNN model for defect detection has been built using images with and without defects accumulated by capturing articles of an industrial product. Under a restriction like that a single PC and single camera can be only available, a defect detection and sorting system has been considered and developed efficiently using multiple small-sized industrial robots. Also, the concept of hyper cutter location source (HCLS) data is introduced, in which not only original CLS data mainly consisting of ‘GOTO’ statements generated by ordinary CAD/CAM systems but also advanced sequences such as visual feedback control, defect detection by CNN, multiple robot control and so on can be further included as statements. The process engine for HCLS data has been developed on Python and applied to reducing the tact time of the production line. The effectiveness and promise has been shown through experiments.

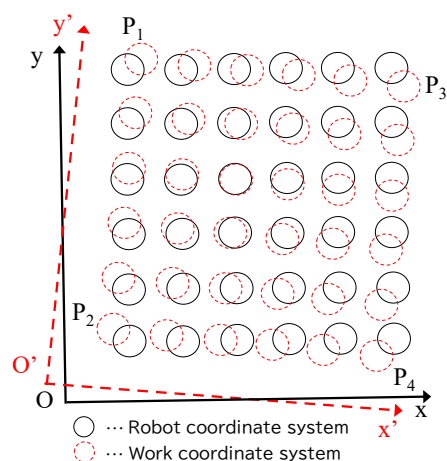


Fig. 2 Undesirable misalignment between robot and work coordinate systems.