

産業用ロボットの高機能化のための HCLS データインタフェースとアプリケーションの提案

F123624 松井 寛治
永田研究室

1. 目的

製造業にとっては新製品の開発に伴う生産ラインの自動化や省力化は継続的な課題であり、人手不足も深刻となる中、ロボット導入のニーズは益々高まっており、このような中、複雑な組み立てを伴う生産ラインでは複数のロボットのシーケンス制御、協調制御、画像処理、ビジュアルフィードバック (VF) 制御、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた欠陥検出などの機能を統合的に、また、プログラマブルに利用できる生産環境へのニーズがある。特に、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など、これまでロボットには対応できず人手に頼っていた作業をより細分化し、複数の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ものの、従来の産業ロボットでは、ロボット言語で予めプログラムされた動作を繰り返し実行する教示再生法が主流であり、自動化ラインを流れるワークの固定位置、把持位置、向きなどが不確かな場合、人間が関与しなければ処理出来ないなど課題が多い。このような課題に対して、ロボット、画像処理、及びAIを簡単に組み合わせて実行できるHCLSデータインタフェースを提案し、複数ロボットによる協調制御の実験により有効性を検証する。

2. 研究内容

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CNN、VF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ロボットの高度化に取り組んできた。まず、CNNのようなAIモデルを製造現場で導入されている産業用ロボットに実装するために必要となる要素技術の開発を行い、培養細胞画像の分類問題を例に、HCLSデータ内のCNN_DEFECTが処理される場合に読み込まれる様々なCNNモデルの構築と可視化性能の評価に取り組んだ。また、CNN_DEFECTステートメント実行時にコールされるCNNモデルの精度向上のために画像の補間方法 (Nearest, Bilinear, Bicubic) について、実際の工業製品の欠陥検出問題を例に検討した。

次に、国内の製造メーカから小型産業用多関節ロボットMG400やMagicianを自社の製造ラインの自動化に適用したいという要望があり、課題の抽出と解決策の検討を行ってきた。ユーザにはロボットの利用環境としてメーカが開発したソフトウェア (Studio) が提供されており、教示再生、言語編集、図による言語編集といった機能を利用できる。しかしながら、Studioを用いた場合や、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台のロボットはハンドリングできるものの、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問題があった。また、VF制御の機能やユーザ側で構築したCNNの実装などはその仕組みを含めて提供されていない状況にあった。

これらの課題を解決するため、MATLABやPython環境下で実行できる一つのアプリケーションがTCP/IP通信により複数のロボットとコネクションを確立し、それぞれを独立に制御できるようにすることでタイミングを考慮したシーケンス制御や協調動作の機能を実現した。また、ロボットのカスタマイズによる高機能化を支援するために、エンドスコープカメラからの画像を使ったVF制御機能とCNNによる画像内の特徴抽出機能などの実装とその有用性について評価した。さらに、複数ロボットをハンドリングするための動作手順をHCLSデータ内に記述し、3台のMG400とのシーケンス制御を用いたピックアンドプレース実験と、3台を同期させた協調制御によるピックアンドプレース実験により有用性を評価した (図1)。最後に、2台の小型産業用ロボットMagicianとベルトコンベアを用いて、ワーク周囲の欠けや変形といったエッジ不良を持つワークの分類タスクに適用し、有用性を評価した (図2)。

なお、本研究では、良品と不良品に加えて未検査品という不良品ではあるものの人の手で修正するこ

とで良品化(製品化)が可能なワークも使用した。また、ロボットやワークの配置位置の違いによりワークに対する光学条件(反射光の干渉など)が変化し、CNNの判定結果にばらつきが生じ、安定しないことがあったため、それぞれのロボットに同一のCNNで評価させることで2段階の検査を可能とし、より信頼度の高い欠陥検出システムを構成した(図2)。

3. 結果

3台のMG400のシーケンス制御を用いたピックアンドプレイス実験と、図1のように3台のMG400を同期させた協調制御によるピックアンドプレイス実験では、従来のPLCを用いることなく、設計通りの動作手順に沿って良好にタスクを実行することができた。また、図2のようにMagicianに接続されたベルトコンベア上を流れるワークをカメラで検出し、CNNを用いてオンラインでの形状を認識後に良品、不良品、未検査品に分類するといったタスクをセンサレスで実行させることができるようになった。以上の実験により、提案システムの有用性が確認された。



Fig. 1 Cooperative pick and place task using multiple robot *MG400s*.



Fig. 2 Cooperative pick and place task using multiple robot *Magicians*, while checking defects.

4. 学会発表

- 1) 松井, 井上, 棟近, 永田ら, CNN 設計支援システムを用いた細胞培養日数推定のための CNN の構築と評価, 第 30 回インテリジェント・システム・シンポジウム(FAN2022) 講演論文集, pp. 59–61, 神戸大学六甲台キャンパス, 9 月 21 日–22 日, 2022.
- 2) 松井, 永田ら, 画像処理用ステートメントの記述が可能な HCLS データの提案と小型産業用ロボットの機能高度化ニーズへの対応, 第 29 回 画像センシングシンポジウム(SSII 2023)講演論文集, 5 pages, 2023.
- 3) 松井, 永田, 阿部ら, 複数ロボットのシーケンス制御と協調制御のための HCLS データインタフェース, 産業応用工学会全国大会 2023 講演論文集, pp. 63–64, 2023.
- 4) K. Matsui, F. Nagata, et al., Comparison of Image Data Interpolation Methods in Building a Transfer Learning-Based CNN for Defect Detection, *Procs. of 29th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp. 951–954, 2024.

Abstract

There is a growing need to enable multiple small robots to perform tasks such as fitting small parts with little clearance, which until recently could not be handled by robots and relied on manual labor, in a more detailed manner and with greater dexterity. However, conventional industrial robots mainly use a teaching-and-playback method in which they repeatedly perform actions that have been programmed in robot language, and there are many problems, such as the fact that processing cannot be performed without human involvement when the fixed position, grasping position, or orientation of a workpiece flowing along an automated line is uncertain. To address these issues, we propose an HCLS data interface that can easily combine robots, image processing and AI, and verify its effectiveness through experiments of cooperative control by multiple robots.