

デスクトップ型多関節ロボットのための 制御インタフェースの開発

－ Hyper CLS データの提案と基本機能の実装 －

三木康平，永田寅臣，有馬滉宜，清水竜樹（山口東京理科大学大学院工学研究科）

古田 慧，加藤博久（山口東京理科大学工学部機械工学科）

渡辺桂吾（岡山大学大学院自然科学研究科）

1. はじめに

ピック＆ブレースや組み立てなどの作業が必要とされる工業製品の自動化ラインでは、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 [1]．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化が困難で人手に頼っていた作業工程をより細分化し、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．例えば、横小路らは WSR ものづくり競技委員会の主要メンバーとして、自動化が難しい製品組立において一品ものであっても効率的に組立可能なロボットシステムを目標とするトライアル競技を開催した [2]．また、野田らはランダム・ピン・ピッキングを「単離」と「持ち替え」の 2 つ小問題として捉え、それぞれの課題に異なるロボットを割り当てることで自動化した [3]．

本研究で取り上げるデスクトップサイズの多関節型ロボットを図 1 に示す [4]．産業用ロボットとして一般的な 6 自由度より少ない 4 自由度しか有していないものの、操作性のよい教示インタフェースとユーザ側での新たなアプリケーション開発を可能にする豊富な API 関数群が提供されていることが特徴となっている．ロボットに付属の教示インタフェース用いれば、教示点、グリッパの開閉動作、サクシジョンカップの ON/OFF 動作、ポーズ時間などの数値情報はタグ形式のテキストデータである playback ファイルとして保存でき、再生時に参照される．しかしながら、playback ファイルはテキストデータでありメモ帳などのエディタで編集できるものの、改行コードが含まれない構造のため理解しづらく、教示作業後に各教示点の座標値を別のシステムで直接微小変更することは困難である．また、畳み込みニューラルネットワーク (CNN)、サポートベクタマシン (SVM) などの欠陥検出用 AI やビジュアルフィードバック (VF) 制御の実装などユーザ側での新たな機能拡張のニーズには対応できていないようである．

筆者らは、これまでに CNN と VF 制御を応用し、樹脂成形品の姿勢を考慮したピック＆ブレースタスクを器用に行うためのロボットシステムの開発に取り組んできた [5]．このシステムにより 2D 平面上に存在するワークを認識し、ピッキングすることは可能となったが、カメラのシャッタータイミングやワークへのアプローチ方法を変更するには適宜プログラム自体を変更する必要がある、その作業が煩雑になるという課題

があった．そこで本研究では、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, SVM および畳み込みオートエンコーダ (CAE)、姿勢検出用の CNN、さらにビジュアルフィードバック制御などの機能を記述できるように HCLS (Hyper Cutter Location Source Data) を提案し、教示再生方式のロボットの機能の高度化を図ることを目的とする．

2. 内容

2.1 クリアランスの小さなピック＆ブレースタスク

大手産業用ロボットメーカーからも様々な小型産業用ロボットが提供されているものの、導入コストの面で中小の製造メーカーが作業の細分化に対応して多くの個体を揃えていくことは容易ではない [2, 6]．そこで本研究では図 1 のような卓上型の 4 自由度ロボットを評価対象として用いることとした．まず、実際の製造ラインにおけるクリアランスの小さいピック＆ブレース作業を想定し、剛性面で劣るこのような卓上型ロボットの適応性能を評価した．特に、アーム先端に装着したグリッパがワークを把持した状態で左右どちらかの方向へ、あるいは前方向に伸びきった状態など動作範囲境界付近では、剛性の低下や振動の発生が課題となることが多い．

図 2 には実験に使用したブレース用のジグを示す．直径 8 mm の円柱形の樹脂成形品を整列していくために 0.8 mm 程度クリアランス持つホールが 7 mm の間隔で 10 個並んでいる．図 3 にはピック＆ブレースの実験風景を示しているがこれと同様に構成した 9 つの実験環境を用意し、それぞれ数時間にわたり安定的にピック＆ブレースの連続動作を安定的に行わせることができた．なお、これらの実験は 9 人の学生が教示作業、教示点の微調整、むだ時間要素を持つグリッパ開閉系のポーズ時間調整などを個別に行ったため、9 つの playback ファイルが作成され、評価されたことになる．このような評価実験により、低価格な卓上型ロボットでも今回取り上げたような人手により行われているパーツのピック＆ブレースタスクに十分適用可能であることが確認された．

2.2 Hyper CLS データの提案と基本機能の実装

さて、playback ファイルは図 4 のようなテキストデータでありメモ帳などのエディタで編集できるものの、改行コードが含まれない構造のため内容を理解しづらく、

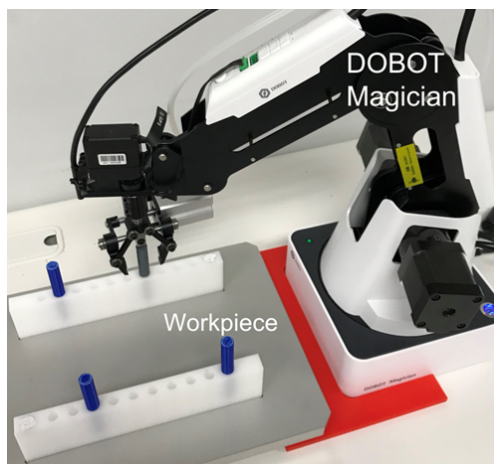


図 1 Desktop-sized 4-DOFs articulated robot named DOBOT Magician [4].

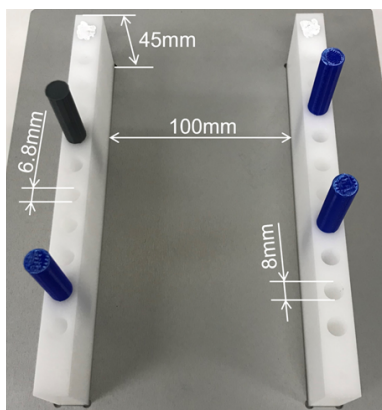


図 2 Workpieces used in the pick and place experiment.

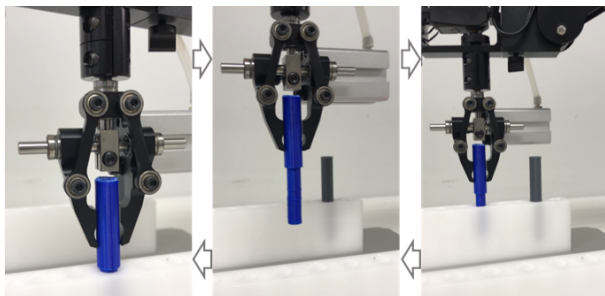


図 3 Repetitive and continuous pick and place experimental for a few hours.

教示作業後に各教示点の座標値を別のシステムで直接微小変更することは困難である。また、AI やビジュアルフィードバック制御の実装など、ユーザ側での新たな機能拡張のニーズには対応できていないようである。

本研究では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、欠陥検出や姿勢検出のための畳み込みニューラルネットワーク (CNN)、サポートベクタマシン (SVM)、畳み込みオートエンコーダ (CAE) などの AI、ビジュアルフィードバック制御などの機能を記述できるように HCLS データを提案する。図 5 には playback 形式のデータから変換された HCLS

```
<root><DobotType><item_0>Magician</item_0></DobotType><row_Studio
/><item_2>274.667300000000001</item_2><item_3>-115.2764</item_3><
22.3676</item_5><item_10>0.0</item_10><item_11>0</item_11></row0>
115.2764</item_3><item_4>61.018000000000001</item_4><item_5>-22.
/><item_2>274.667300000000001</item_2><item_3>-115.2764</item_3><
22.3676</item_5><item_10>0.0</item_10><item_11>0</item_11></row2>
```

図 4 Example of text codes included in a playback file generated using DOBOT Studio.

```
Absolute
GOTO/274.667300000000001,-115.2764,61.018000000000001,-22.3676,0.0,0.2
GOTO/274.667300000000001,-115.2764,61.018000000000001,-22.3676,1.1,2
GOTO/274.667300000000001,-115.2764,23.817900000000002,-22.3676,0.0,0.2
:
GOTO/274.667300000000001,-115.2764,61.018000000000001,-22.3676,1.0,2.2
GOTO/274.667300000000001,-115.2764,61.018000000000001,-22.3676,0.0,0.2
```

図 5 Example of HCLS data converted from a playback file.

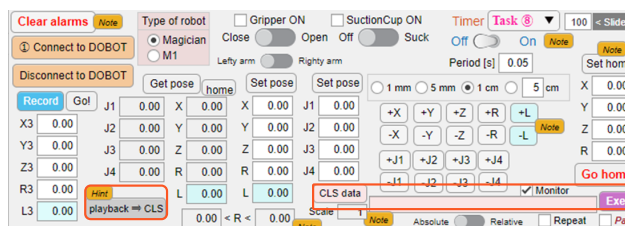


図 6 Developed robot operation dialog, in which HCLS data can be selected and executed.

データの例を示す。Creo など一般的な CAD/CAM システムのメインプロセッサが算出する CLS データには、直線補間用の GOTO や円弧補間用の CIRCLE といったステートメントが記述されている。HCLS データでは、GOTO ステートメントを先頭に持つ行内に XYZ 座標値、グリッパの回転角度である R 値に続き、ウェイト時間を指定する PAUSE (5 番目の要素)、グリッパのオープンとクローズを指定する GRIPPER (6 番目の要素)、リンク補間用の MOVJ 指令あるいは直線補間用の MOVL 指令を指定する MOV (7 番目の要素) などのステートメントを意味する数値情報を記述できるようにしている。

基本ステートメントである GOTO 文に加えて、WEB カメラやエンドスコープで撮影を行う SNAPSHOT、二値化画像処理により算出したオブジェクトの姿勢情報をもとにグリッパの姿勢を自動調整する ORIENTATION、CNN でオブジェクトの姿勢を推定しグリッパの姿勢を自動調整する CNN_ORIENTATION、ビジュアルフィードバックによりオブジェクトの重心位置にグリッパを移動させる VF_CONTROL、さらに CNN により画像に含まれる欠陥を検出できる CNN_DEFECT などの拡張用ステートメントを含ませることができるようになっている。

2.3 Hyper CLS データに対応した制御インタフェイス

図 6 には HCLS データをもとに 4 自由度を持つ小型卓上型ロボットを動作させることができるように MATLAB 上で開発している制御インタフェイスを示す。開発にはこのロボットメーカーが提供する運動学関係の API

を用いている．

2.1 節で用いた playback 形式のデータから生成させた HCLS データを用いてピック＆ブレースタスクを実行したところ，安定性，動作速度ともにロボットの標準ユーザインタフェースを使ったときと同様の性能が確認された．特に，成形品をホールに挿入する再には，軌道が弧を描く MOVJ ではなく直線移動が保証された MOVL を選択することでスムーズな挿入が可能であった．また，これまでのところ，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を行う SNAPSHOT，オブジェクトの姿勢検出用 ORIENTATION と CNN_ORIENTATION，欠陥検出のための CNN_DEFECTCNN，オブジェクトの重心位置までグリッパを移動させるビジュアルフィードバック制御を行う VF_CONTROL など，個々のステートメントの機能の実装と動作確認を行った．

3. おわりに

本研究では 0.8 mm 程度のクリアランスしかない樹脂成形品のピック＆ブレースタスクを例に，MATLAB 上で開発している小型卓上型ロボット用の制御インタフェースの基本機能を評価した．playback データから変換された HCLS データを用いた長時間のプレイバック実験により，提案システムを適用できることが確認された．また，基本ステートメントである GOTO 文に加えて HCLS データで利用できる拡張用ステートメントの実装と基本動作の確認を行えることができたため，今後はそれらを応用することで，これまで人手に頼っていた欠陥検出を含むピック＆ブレースタスクの自動化に取り組む予定である．

参 考 文 献

- [1] 森岡昌宏，“人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発”，日本ロボット学会誌，Vol. 27, No. 10, pp. 1088–1091, 2009.
- [2] 横小路泰義ら，“World Robot Summit 2018 ものづくり カテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要”，日本ロボット学会誌，Vol. 37, No. 3, pp. 208–217, 2018.
- [3] 野田哲男ら，“一般形状部品の多品種供給の自動化”，日本ロボット学会誌，Vol. 33, No. 5, pp. 387–394, 2015.
- [4] DOBOT, <https://www.dobot.cc/magician-lite.html>
- [5] K. Miki, F. Nagata, et al., “Defective Molded Article Picking Robot Using Image Processing Technique and Visual Feedback Control,” *Procs. of Artificial Life and Robotics 2021 (AROB 26th 2021)*, OS1-1, pp. 498–502, 2021.
- [6] 原田研介，万偉偉，“産業用ロボットの次世代技術について”，日本ロボット学会誌，Vol. 37, No. 10, pp. 915–918, 2019.