

フリップ機構および内蔵センシング空間への誘導機能を有するバラ積みピッキング用スコップ型ロボットハンド

○西村 斉寛（金沢大学） 大塚 一輝（イードル株式会社）

檜作 大樹（イードル株式会社）

本研究では、バラ積みされた対象物を複数個まとめて把持し、その状態から1つずつ対象物をプレース可能なロボットハンドシステムを提案する。提案するロボットハンド機構は、対象物をすくって把持するスコップ部、対象物を1つずつ送り出すフィーダ部、対象物の姿勢を検出する内蔵センシング部、対象物の表裏を反転させるフリップ部を有している。これらの機能を活用することで、事前学習不要かつ低計算コストでありながら、対象物の姿勢補正も含めたバラ積みピッキングタスクを達成するロボットシステムを提案する。

1. はじめに

バラ積みピッキングは工業製造、物流、食品製造などの多くの領域で必要な作業である。ロボットを用いてバラ積みピッキングを自動化するためには、センサを用いて対象物群の状態を認識し、そのうちの1つをピッキング・プレースするのが一般的な解決策である[1][2]。それらの手法の場合、対象物を所望の姿勢で配置するにはピッキング時に対象物の姿勢も取得する必要がある。よって、従来のバラ積みピッキングタスクでは、対象物群の3次元情報を取得するためのセンサシステムおよび、深層学習などのモーション生成・把持位置計算アルゴリズムが必要となり、導入コストが大きくなる点が課題である。また、バラ積みピッキングで広く用いられるビジョンセンサでは、照明環境の変化が精度に大きく影響する点も課題である。そこで本研究では、汎用的なセンサ（2次元カメラ）と低計算コストでのバラ積みピッキングタスクの達成を目指し、ロボットハンド機構ベースでの解決手法を提案する。そこで、対象物を1つずつピッキング・プレースするのではなく、複数個同時にピッキングした後に、1つずつプレースするという方法論を提案する。そのためのロボットハンド機構は、

- ① 対象物をすくって把持するすくい機能
- ② 対象物を1つずつ送り出すフィーダ機能
- ③ 対象物の姿勢を検出するセンシング機能
- ④ 対象物の表裏を反転させるフリップ機能を有している。センサレスで複数個の対象物をピッキングし、フィーダ機能により、対象物を分離させながら送り出すことで1つずつのプレースを可能とする。送り出し過程においてロボットハンド内部で対象物の姿勢（表裏）をセンシングし、必要に応じてフリップ部で対象物を反転させる。この内蔵されたセンシング空間では2次元カメラのみを搭載しており、ロボットハンド内部でセンシングを行うことで外部の環境条件の影響を受けにくいセンシング環境を構築する。さらにフィーダ機能で対象物の姿勢を整頓することで、センシングに必要な情報を



表 裏
図1 対象物

削減し、低コストのセンサ・計算アルゴリズムでのセンシングが可能となる。マグネットギアとワンウェイクラッチを用いることで、モータ1つでフィーダ部およびフリップ部の駆動を実現するメカニズムを開発した。

2. ロボットハンド構造

2.1 問題設定

本研究では、弁当の自動製造プロセスを想定し、図1に示すような調味料入りパウチをバラ積み状態から1つだけプレースする作業を対象とする。その際、パウチの表面（本稿では商品名が記載されている面）が見えるように配置することを要件とする。

2.2 機能要件

提案するロボットハンドの機能要件を示す。

- ① 複数個の対象物を同時把持し、1つずつのプレース可能
- ② 対象物の表裏を検出するセンサシステムを搭載する
- ③ 対象物の表裏を反転させるフリップ機能を有する

ロボットハンドの重量・大きさや、配線を考慮し、機能要件1と3のためのアクチュエーションはモータ1つで実現する構造を提案する。

2.3 構造

図2に提案ロボットハンドの3D-CADモデルを示す。提案ロボットハンドはスコップ部、フィーダ部、フリップ部を有している(図2(a))。図2(b)の通り、搭

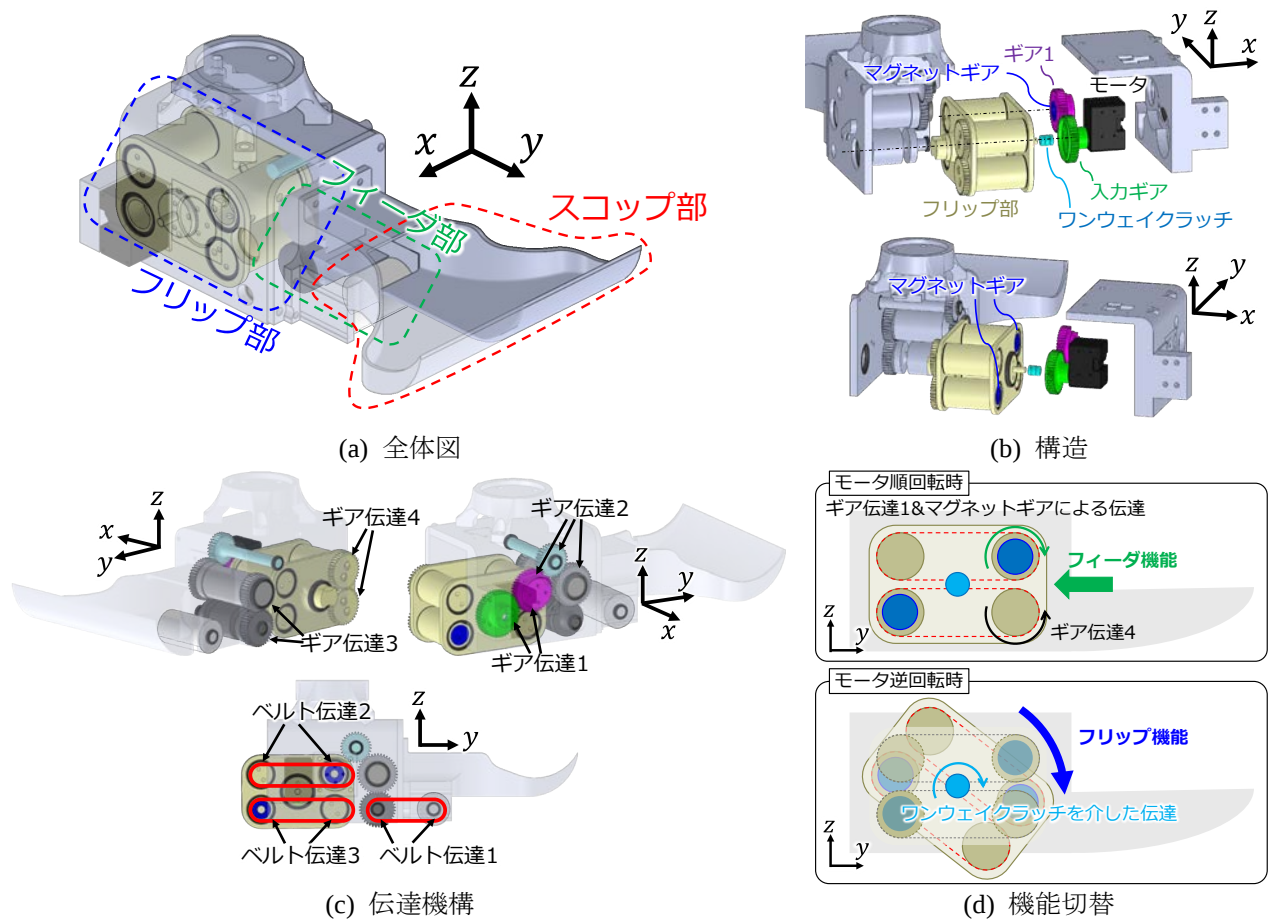


図2 提案ロボットハンド

載された1つのモータには入力ギアが取り付けられている。入力ギアの回転はギア伝達1, 2, 3およびベルト伝達1によりフィーダ部を駆動させる。これにより、スcoop部によりすくい上げた対象物をロボットハンド内部に送り込むことが可能となる。フリッパー部はワンウェイクラッチを介してモータに接続されており、フィーダ部が対象物をロボットハンド内に送り込む方向にモータを回転（順回転）させた際は、フリッパー部に回転を伝達しない構造となっている。一方、モータを逆回転させた際は、フリッパー部を反転させることができるようにフリッパー部は保持されている。ギア1とフリッパー部内のローラにはマグネットギアが搭載されており、ギア1の回転がフリッパー部に非接触で伝達される構造となっている。本構造により、モータが順回転時はフリッパー部もフィーダとして機能することから、把持した対象物を送り出す動作となる。逆回転時はフリッパー部が回転する。フリッパー部の回転中はマグネットギアによるトルク伝達は遮断されるが、フリッパー部が180°回転（反転）した後は再度マグネットギアがかみ合うことでフィーダ部の駆動が復元される（図2(d)）。またフリッパー部には送り込まれた対象部をセンシング可能なカメラが取り付けられている。

3. 制御戦略

本提案ロボットハンドによるバラ積みピッキングにおける制御戦略を図3に示す。本戦略では予め記

録したすくい動作モーションと対象物の表裏の画像 $M_f, M_b \in \mathbb{R}^{w \times h \times 3}$ 、特徴点マッチングのための閾値 θ_{th} が入力パラメータである。対象物群に対してすくい動作を行った後、フィーダ機能により対象物1つを送り込む。フリッパーに対象物が送り込まれたことの判定と、表裏の判定を搭載されたカメラ画像により行う。時間ステップ t におけるカメラ画像 $M_c(t) \in \mathbb{R}^{w \times h \times 3}$ と M_f, M_b を特徴点マッチングにより比較する。 M_f, M_b に対するマッチング量をそれぞれ θ_f, θ_b とすると、どちらかのマッチング量が θ_{th} を超えた場合に、対象物がフリッパー部に送り込まれたと判定する。また θ_f, θ_b を比較し、 $\theta_f < \theta_b$ であればフリッパー動作を行い、表側へのアライメントを実行する。

事前情報：

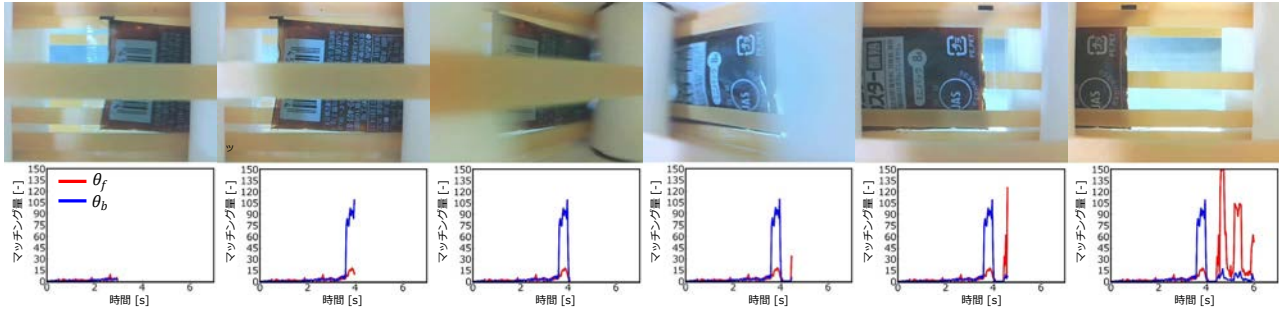
すくい動作のティーチングモーション
対象物の表裏の画像 M_f, M_b
特徴点マッチングの閾値 θ_{th}

- 1 すくい動作実行
- 2 モータ順回転によるフィーダ操作
- 3 **While** $\theta_f < \theta_{th}$ and $\theta_b < \theta_{th}$
- 4 カメラ画像 M_c 取得
- 5 θ_f, θ_b 計算
- 6 **If** $\theta_f < \theta_b$
- 7 モータ逆回転によるフリッパー動作
- 8 モータ順回転によるフィーダ操作

図3 制御戦略



(a) すくい動作



(b) フィード操作とフリップ動作

図4 バラ積みピッキング実験

4. 実験

開発したロボットハンドによるバラ積みピッキングの実機実験を行った。結果は図4の通りである。図4(a)の通り、すくい動作により複数の対象物を把持できている。また、図4(b)は内部カメラによる画像と算出したマッチング量 θ_f , θ_b である。対象物がフリップ機構内に送り込まれてくることでマッチング量が増加している。図4(b)は対象物が裏側の状態の結果が示しており、 $\theta_b > \theta_f$ となっている。よってフリップ操作を行うことで表面への姿勢補正を実現できている。

5. おわりに

複数の物体を同時に把持し、1つずつプレースするという新たなバラ積みピッキング手法が可能なロボットハンドを提案した。機構的に対象物をロボットハンド内部のセンシング空間に送り込むことで対象物情報の取得を容易化し、学習不要でありながら対象物の姿勢整頓まで可能なロボットシステムを開発した。

参考文献

- [1] X. Zhang, Y. Domae, W. Wan, and K. Harada, "Learning Efficient Policies for Picking Entangled Wire Harnesses: An Approach to Industrial Bin Picking," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 73–80, 2023,
- [2] Thinker, "Proximity sensor TK-01." <https://www.thinker-robotics.co.jp/en/>