多様な物品の処理で物流現場の自動化に貢献する 知能化ピッキングロボット

Intelligent Picking Robot Capable of Handling Various Articles to Enhance Logistics Automation

小川 昭人 OGAWA Akihito 紺田 和宣 KONDA Kazunobu 平栗 一磨 HIRAGURI Kazuma

物流の現場では、作業の自動化ニーズが高まっている。しかし、対象となる物品の種類や保管状態は様々であり、指定動作を繰り返すような従来技術での自動化では、対応が困難になっている。

東芝は、物流自動化ソリューションのエッジコンポーネントとして、様々な形状や質量の物品に対応可能な知能化ピッキングロボットを開発した。真空吸着把持方式と挟み込み把持方式の切り替えが可能なハイブリッドハンド、及び計画制御技術の搭載で、真空吸着方式単独では難しかった複雑な形状に対応する。対応品種が拡大したことで、多様な物品を扱う物流現場の自動化に貢献できる。

A strong need has arisen in recent years for the further automation of operations in physical distribution warehouses due to the increasing volume of articles being handled and the workforce shortage. However, as various types of articles are stored under different conditions, it is difficult to handle them using conventional automation techniques that are only capable of repeating predetermined operations.

Toshiba Corporation has developed an intelligent picking robot as an edge component of logistics automation solutions that is capable of handling articles with a variety of shapes and different weights. This robot is equipped with a hybrid hand that can be operated in either the suction grip or pinching grip mode according to the targeted object, as well as planning and control techniques for its operation. As a result, the hybrid hand can handle a wider variety of articles having complicated shapes compared with conventional hands operating solely in the suction grip mode. This picking robot is expected to contribute to the advancement of automation in physical distribution warehouses.

1. まえがき

物流量の増大や労働力の不足から、物流倉庫における作業の自動化ニーズが急速に高まっている。特に、顧客からの注文に従って、物品を指定の数だけ出荷箱に集めていくオーダーピッキングという作業は、物流倉庫運用コストの約55%を占める作業といわれており⁽¹⁾、自動化が望まれている。オーダーピッキング作業は、保管庫に物を取りに行く"歩行"、注文された物品を探す"探索"、及び物品を保管箱から取り出して出荷箱に入れる"ピッキング"の作業で構成される。ここで、歩行と探索の一部は、既に自動倉庫や棚搬送ロボットといった製品で自動化が進んでいる。一方、ピッキングの自動化は難しく、人手に頼っている。作業の対象となる物品は様々で、中規模以上の倉庫では数千~数十万という種類があり、季節や荷主によっても入れ替わる。このため、従来主流だった指定の動作を繰り返すようなロボットでは、自動化が困難であった。

そこで東芝は、対象物品に合わせて把持方式の切り替えが可能なハイブリッドハンドと、認識、計画、及び制御で構成された知能化の技術により、多様な物品のピッキング作業を自動化するピッキングロボットを開発した。ここでは、ハ

イブリッドハンドに加え、知能化実現のための独自の認識及び計画制御技術であるマスターレス認識とティーチレス動作を中心に、多様な物品の処理に対応できる知能化ピッキングロボットについて述べる。

2. 知能化ピッキングロボット

2.1 知能化ピッキングロボットの概要

知能化ピッキングロボットの基本構成を、図1に示す。産業用の6軸垂直多関節型ロボットアームに、ハイブリッドハンドを搭載しており、ロボットアーム上方には、保管箱と出荷箱を撮影するための、カラーカメラ及び距離画像カメラで構成した撮像部を設けている。物品が保管されている保管箱と注文された物品を納めるための出荷箱は、コンベヤーで搬入・搬出される。

2.2 ピッキング作業の自動化

知能化ピッキングロボットの自律的なピッキング動作は、認識、計画、及び制御という工程で実行する(図2)。

まず、保管箱と出荷箱を撮影し、箱の中にある個々の物品の状態を認識する。次に、物品の状態に合わせて、出荷箱の中の物品の把持方法や把持の姿勢などの取り出し方、及び取り出した物品を出荷箱に詰める位置や姿勢など



図1. 知能化ピッキングロボットの基本構成

独自開発のハイブリッドハンドで、多様な物品を扱うことができる。 Basic configuration of intelligent picking robot

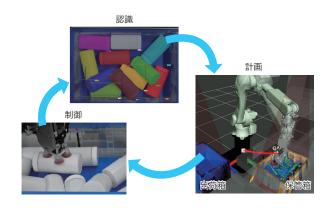


図2. 自律的なピッキング処理の流れ

認識、計画,及び制御の工程で、ピッキング作業を自動化した。 Flow of autonomous picking processes

の詰め方といった、ロボットアームやハイブリッドハンドの動きを計画する。最後に計画に沿って、ロボットアームやハンドの動きを制御することで、注文された物品を保管箱から出荷箱に移動し、一連のピッキング作業を完了する。これを、必要な回数繰り返す。

3. 多様な物品をピッキングするための要素技術

多様な物品のピッキングを実現するために、知能化ピッキングロボットには、三つの特長ある技術を搭載した(**図3**)。

3.1 ハイブリッドハンド

現在,物流向けピッキングロボットの把持方式は,箱入りの物品に適した真空吸着方式が主流である⁽²⁾。しかし,この方式では,日用品に多い液体容器や,台紙と透明プラスチックで包装されたブリスターパックなど,吸着困難な凹凸がある物品は扱えない。

そこで、先端に真空吸着と挟み込みの二つの把持部を設

ハイブリッドハンド

多様な物品のピッキング

マスターレス認識

ティーチレス動作

図3. 多様な物品をピッキングするための三つの技術

機構設計や制御技術,機械学習や最適化技術といった多分野の技術を組み合わせて,多様な物品の取り扱いを実現した。

Three technologies for picking various articles





真空吸着方式

挟み込み方式

図4. ハイブリッドハンドによる把持の様子

対象物品に合わせて, 真空吸着方式と挟み込み方式を切り替えることができる。

Hybrid hand capable of selecting appropriate grip mode according to targeted article

け、対象物に合わせて切り替えることで、様々な形状や質量の物品を把持できるハイブリッドハンドを新たに開発した(図4)。また、複雑な機構を持つハンドを人の手と同程度のサイズ⁽³⁾に収め、手首軸を設けることで、狭い保管箱にハンドを挿入しながら様々な姿勢の物品を把持することを可能にした。

把持部の切り替えは、ハンド中央の切り替え軸を中心に回転することで行う(図5)。把持部を着脱する方式ではなく、回転方式を採用したことで、1.6秒という短時間での切り替えを実現した。

3.2 マスターレス認識

安定したピッキング動作の実現には、作業対象となる保管 箱や個々の物品を精度良く認識する必要がある。そこで、カ ラー画像及び距離画像を用いて形状データなどの事前登録 なしで物品を認識する、マスターレス認識技術を開発した。

まず、カラー画像を用いて、保管箱内の個々の物品を切り分ける物体領域抽出を行う。抽出には、当社独自の深層学習による世界最高精度(注1)のAI認識技術(4)を適用した。

(注1) 2020年11月現在、当社調べ。

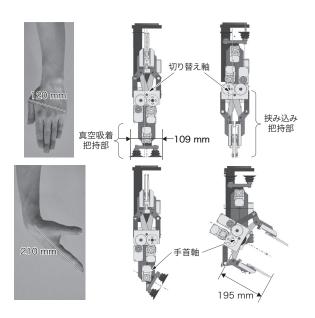


図5. ハイブリッドハンドの機構

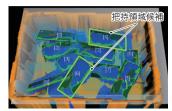
切り替え軸を中心に180°回転することで,把持方式を切り替える。切り替え軸と挟み込み把持部の手首軸は兼用されており,吸着把持部の手首軸は独立している。

Structure of hybrid hand

この技術は、画素ごとに特徴値を求めるものであり、公開データを用いた実証実験において、推定精度を従来方式に比べて約45%向上させた。この物体領域抽出により、縦置きやばら積みなど様々な姿勢に置かれた物品や、物品同士が重なって一部が隠れた物品も、精度良く領域を切り分けられる(図6(a))。



(a) 物体領域の抽出結果



(b) 把持領域候補の抽出結果

図6. マスターレス認識の結果

物品ごとの姿勢や把持に適した領域を抽出し、3次元情報空間にマッピングする。

Results of recognition without using individual model data

次に、距離画像を用いて、各物品の姿勢や把持に適した 把持領域候補を抽出する。図6(b)に、抽出した情報をマッ ピングした3次元情報空間の例を示す。実際の空間の様子 が精度良く3次元情報空間に取り込まれている。

深層学習を用いたマスターレス認識により、個々の物品について3次元形状などのマスターデータを事前登録しなくても、物品の位置や姿勢の認識が可能となった。

3.3 ティーチレス動作

多様な物品のピッキングであっても、ロボットに動作を都度入力するティーチング作業が不要な、ティーチレス動作を開発した。ティーチレス動作は、マスターレス認識で得た情報を基に、把持や箱詰めといった複雑なピッキング動作を計画する独自の計画技術、及び位置と力覚のフィードバック制御(5)により実行される。

ティーチレス動作の実現には、物をつかんだり、保管箱に詰めたりするといった、物品の操作に関わる動作の生成が重要となる。ここでは特に、ハイブリッドハンドで物品をつかむ際の把持姿勢を生成する把持計画技術について述べる。

3.3.1 把持姿勢の候補の算出

保管箱内で認識された複数の物品やその把持領域候補に 対し、ハイブリッドハンド把持部のモデルを用いた幾何的な 探索処理を行うことで、複数の把持姿勢の候補を算出する。

3.3.2 把持姿勢の評価と選択

3.3.1項で算出した複数の把持姿勢の候補を,把持の確 実性,安定性,及び高速性を考慮して評価し,最も評価 の高い姿勢を選択する(図7)。

把持の確実性は、ロボットと周囲物品との干渉の可能性などで評価する。把持する際に、ハンドと周囲の距離が十分ある候補、及び挟み込み把持部の先端爪が容易に挿入



図7. 計画された把持姿勢と評価項目

複数の視点で評価することにより、高速処理が可能で安定した把持姿勢を 決定することができる。

Gripping posture planned on basis of evaluation items

可能である候補は、確実性の評価が高まる。安定性は、把持に有効な吸着パッドの数や物品の質量に加え、先端爪の接触面積や、対象物品の重心と把持位置の予測値の関係などから推定する。高速性は、把持前のロボットアーム姿勢との乖離(かいり)度や把持方式の切り替えの有無などで評価する。これは、把持する位置が同じでも、ロボットアームの6軸の回転量など、姿勢の乖離度が大きいと、姿勢変更の時間が長くなるためである。

このように、複数の項目で評価した姿勢を用いることで、 高速で安定した物品の把持が可能になる。

4. 知能化ピッキングロボットの性能評価

多様な物品に対する把持性能を確認するため、実際の物品を用いたピッキング評価を実施した(図8)。ピッキング対象として、量販店物流倉庫の取扱商品を参考に、箱や、液体容器、ブリスターパックなど、知能化ピッキングロボットでの処理を想定した13種類の代表物品を選定した。また、保管箱内の置き方として、平置きや、縦置き、ばら積みなど、物品ごとに $1\sim3$ 種類を設定し、延べ40パターンの評価対象を用意した。評価では、40パターンのピッキングを、それぞれ複数回実行した。

13種類のうち,真空吸着だけで把持できた物品は2種類,挟み込みだけで把持できた物品は6種類であった。ハイブリッドハンドは,表裏で形状の異なる物品や,物品の置かれた姿勢に合わせて,把持方式を変えることで,把持が可能になる。この結果,知能化ピッキングロボットでは,13



箱 (平置き)



ブリスターパック (ばら積み)



スプレーボトル (ばら積み)



液体容器 (縦置き)



ブリスターパック (平置き)



ブラシ (ばら積み)

図8. 多様な物品のピッキングの例

対象物品の状態に合わせて把持することで、多様な物品のピッキングを可能にした。

Examples of picking of various articles

種類全ての把持を実現し、真空吸着方式単独の場合に比べて対応可能な品種を6.5倍に拡大した。処理時間は、各パターン5個ずつ計200個の平均で7.2秒/個となり、1時間当たり500個相当の処理性能を確認した。

5. あとがき

多様な物品の処理が可能な知能化ピッキングロボットと、 その技術の特長について述べた。今後、製品化に向けた技 術開発を進め、東芝グループの物流自動化ソリューション を支えるエッジコンポーネントとして、物流現場の自動化・ 効率化の実現に貢献していく。

文 献

- Bartholdi, J.J. III; Hackman, S.T. WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE Release 0.96. Warehouse Science. 2014, 301p. https://www2.isye.gatech.edu/~jjb/wh/book/editions/wh-sci-0.96.pdf, (accessed 2021-06-29).
- (2) 小川昭人, ほか. 物流現場の省力化や効率化に貢献するピッキングロボット・荷積みロボット. 東芝レビュー. 2019, **74**, 4, p.20-24. https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/04/74_04pdf/a06.pdf, (参照 2021-06-29).
- (3) 人工知能研究センター. "日本人の手の寸法データ". https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/data/list.html, (参照 2021-06-29).
- (4) Ito, S.; Kubota, S. Point Proposal based Instance Segmentation with Rectangular Masks for Robot Picking Task. Proceedings of 15th Asian Conference on Computer Vision. Kyoto, 2020-11, Computer Vision Foundation. Springer, 2021, p.641–653.
- (5) 平栗一磨, ほか. はやく・やさしく・緻密な動作を実現するロボット制御・把持技術. 東芝レビュー. 2019, **74**, 4, p.12-15. https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/04/74_04pdf/a04.pdf, (参照 2021-06-29).



小川 昭人 OGAWA Akihito

生産技術センター ロボット製品化技術推進プロジェクトチーム 日本ロボット学会会員

Robot Technology Development Project Team



紺田 和宣 KONDA Kazunobu

生産技術センター ロボット製品化技術推進プロジェクトチーム 人工知能学会会員

Robot Technology Development Project Team



平栗 一磨 HIRAGURI Kazuma

生産技術センター ロボット製品化技術推進プロジェクトチーム 日本機械学会・応用物理学会会員

Robot Technology Development Project Team