

論文内容の要旨

博士論文題目 Novel Performance Metrics to Evaluate Bin-picking Robots
for Various Mixed Items
(多品種混載ビンピッキングロボットのための性能評価指標群)

氏 名 藤田 正弘

(論文内容の要旨)

多品種混載物のビンピッキングはロボット工学における重要な研究課題である。近年のロボット競技会は、最新技術を用いる参加者と従来技術を用いる参加者がいるため、技術比較の優れたプラットフォームであると言える。競技ルールに基づいて加点、減点が行われるが、最終的なスコアが用いられた技術の適合性を直接的には反映しないため、スコアからどの技術とその組み合わせが実世界の様々な課題に対して最適であるかを理解することは困難である。また、ビンピッキングロボットの重要な要素の一つがグリッパであり、対象物が多様な場合には、通常、複数のグリッパが用いられる。複数のグリッパの組み合わせ設計は、対象物のバリエーションと共に、作業の進行に応じて変化する容器内の状態にも依存する。

本論文では、まず、容器内における「物体のまばらさ」に基づいたグリッパの組み合わせ戦略と、それを用いたビンピッキングロボットシステムを提案する。そして、把持成功率を指標とした評価結果を示し、本戦略の有効性を検証する。多品種の把持に必要な三種類のグリッパの切り替え戦略について提案し、実際にロボットシステムを構築し、把持成功率を性能評価指標としてその有効性を検証した。本指標群を用いた多面的な分析により、競技会のスコアでは分からない各システムの特徴や設計コンセプトが明らかになった。ただし、この指標は競技会のスコアと同様にロボットシステムのある一つの側面しか表していない。

そこで、次に、ビンピッキングにおける重要な技術を明らかにするために、実際の現場使用の観点から選択した新たな性能評価指標群を提案する。そして Amazon Robotics Challenge 2017 の Stow タスクにおける上位 4 チームのロボットシステムをこの性能指標群を用いて比較し、物流倉庫自動化の実現に向け、ビンピッキングロボットに重要な技術を論じる。定量的な分析結果により、「短い動作時間」、「高い成功確率」、「失敗からの短時間復帰」が実用性の観点から重要であることを明らかにした。そして、ビジョンシステムとロボットアームの分離、アイテムに適したグリッパ利用、素早い失敗検知と復帰戦略といった、具備すべき要件であることを示した。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、近年自動化が進む物流倉庫において、未だ作業者により行われている多品種混載のビンピッキング作業の自動化の実現に必要な技術を分析している。まず、多品種の把持に必要な三種類のグリッパの切り替え戦略について提案し、実際にロボットシステムを構築し、把持成功率を性能評価指標としてその有効性を検証している。次に、多品種混載ビンピッキングロボットにおける重要な技術を明らかにするために、新たな性能評価指標群を提案している。そして、4つのロボットシステムをこの性能評価指標群を用いて定量的に評価し、実用性の面で重要な技術を明らかにしている。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. 容器内における物体のまばらさ (Object sparseness) に基づくグリッパの切り替え戦略に提案性がある。物体が容器内に多くある序盤から中盤に掛けては二種類の吸着タイプのグリッパを用い、物体が少なくなり干渉のリスクが減り、吸着困難物が残る終盤に、その一つを二指グリッパ切り替える戦略であり、実際のロボットシステムを用いた実験でその有効性が確認できる。
2. 多品種混載ビンピッキングロボットに対する新たな性能評価指標群を提案している。アマゾン社主催のロボット競技会に出場した上位4チームのロボットシステムをこの性能評価指標群を用いて定量的に分析している。本指標群を用いた多面的な分析により、競技会のスコアでは分からない各システムの特徴や設計コンセプトが明らかになっていることが確認できる。
3. 定量的な分析結果により、「短い動作時間」、「高い成功確率」、「失敗からの短時間復帰」が実用性の観点から重要であることを明らかにしている。そのために、ビジョンシステムとロボットアームの分離、アイテムに適したグリッパ利用、素早い失敗検知と復帰戦略が具備すべき要件であることを示している。さらに、各々の観点から今後開発すべき技術を明示しており、実用化に向けた発展性が確認できる。

以上のように、本論文は、多品種混載ビンピッキングロボットの新たな性能評価指標群の提案により多面的な評価を可能とし、さらに今後必要となる技術を明示することにより、実用化に貢献している。よって本論文は、博士(工学)の学位論文としての価値があるものと認める。