

論文内容の要旨

博士論文題目 Agile Reconfigurable Robotic Assembly System
(迅速に再構成可能な組立ロボットシステム)

氏名 清川 拓哉

(論文内容の要旨)

本研究では、製品の種類・量の変化に迅速かつ柔軟に対応できる変種変量生産を行うロボットを用いたセル型の自動組立システムの実現を目指し、新製品の導入に対して、迅速な再構築が可能な組立ロボットシステムの構成法を明らかにすることを目的とした。

自動組立ロボットの研究分野における未解決の課題を整理し、対象とする課題を設定した。具体的には、認識システムの迅速な再構築手法の構築、CADモデルのみを用いる組立順序の生成手法の構築、汎用柔軟治具の開発を行い、多様な部品を含む組立製品を用いて実験を行った。本論文で提案された手法は以下の3点から、これまでの研究とは差別化できる新規性、独自性と有用性を有している。

(1)深層学習を用いた高精度な物体認識システムを製造現場において活用する際に、迅速な製品入れ替えに対応可能にするため、データセットの迅速な生成が必要である点が課題である。このデータセット生成の迅速性改善に着目して、認識システムの再構築におけるボトルネックとなり得る学習画像データセットの生成を自動化する手法を構築した。(2)近年の計算機の処理速度向上による3次元モデリング技術の発達の恩恵を受けて、3次元の製品設計モデルのみから、剛体だけでなく変形物体の部品情報を自動抽出して、さらに組立作業の難易度に関連する拘束状態遷移難度に基づき組立順序の自動生成を可能にした。(3)ソフトロボティクス分野の再注目を背景に、開発された柔軟グリッパの把持能力に活用されるジャミング転移現象を応用して、柔軟治具という新しい部品固定装置を提案した。組立操作中における多様な形状の部品の固定能力をロボット実験により評価した。

実験では、多様な形状の剛体と一つの変形物体を含む製品を用いて、各手法の汎用性と精度およびシステム再構成にかかる時間の観点から提案手法を評価した。結果、自動データセット生成により、人手の生成と比較して生成時間を大幅に削減し、CADモデルのみから複数の制約条件を満たすような多目的最適化に基づく組立順序を自動で生成し、柔軟治具による部品配置・固定および治具上での部品操作が可能であることを示した。

最終発表にて、研究の位置づけと研究目標に対する達成度に関する議論を深めた。3つの提案手法の戦略の違いを、迅速性に対する汎用性と作業の精度という観点から説明し、本研究では、その3軸を同等に追及することを目指しているとターゲットを明確にした。各提案手法の結合可能性については、認識・計画・実行の各プロセスにおける提案手法の関連性と結合した拡張手法について考察した。

また、迅速に再構成可能な組立システムの実現に対して、汎用性および迅速性を改善した部分を明らかにして、残る課題を示した。迅速性の比較評価として、従来手法と提案手法それぞれにかかる手間と所要時間を説明し、提案手法の具体的な所要時間も示すことで、研究の将来性を議論している。

(論文審査結果の要旨)

本研究では、変種変量生産を行うセル型の組立ロボットシステムの実現を目指し、新製品の導入に対して、迅速に再構築が可能な組立ロボットシステムの構成法を明らかにするしたものである。基本システム構成の汎用性と再構築用のシステム構成の迅速性を改善する構成手法を示している。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. 深層学習を用いた高精度な物体認識システムを製造現場において活用する際に、迅速な製品入れ替えに対応可能にするため、データセットの迅速な生成が必要である点が課題である。このデータセット生成の迅速性改善に着目して、認識システムの再構築におけるボトルネックとなり得る学習画像データセットの生成を自動化する手法を構築した。
2. 近年の計算機の処理速度向上による 3 次元モデリング技術の発達之恩恵を受けて、3 次元の製品設計モデルのみから、自動的に組立順序を計画する方法を示した。設計段階で容易に得られる CAD モデルのみからの自動組立計画問題を解くことで、部品のマイナーチェンジに対して迅速に対応可能な構成にできるとして問題を定めた。剛体だけでなく変形物体の部品情報を自動抽出して、さらに組立作業の難易度に関連する拘束状態遷移難度に基づき組立順序の自動生成を可能にしている。
3. ソフトロボティクス分野の再注目を背景に、開発された柔軟グリッパの把持能力に活用されるジャミング転移現象を応用して、柔軟治具という新しい部品固定装置を提案した。従来の専用治具のように部品変更の際に再設計する必要がなく、従来の機械式汎用治具のようにアクチュエータの複雑な制御も不要、部品形状になじむ柔軟膜を用いたものであり、組立操作中における多様な形状の部品の固定が可能であることをロボットを用いた実験により評価した。

以上のように、自動画像データセット生成により、人手の生成と比較して生成時間を大幅に削減し、変形部品も含む製品に対して CAD モデルのみから複数の制約条件を満たすような多目的最適化に基づく組立順序を自動で生成し、柔軟治具による部品の配置と固定および治具上での部品操作が可能であることを示した。システムの汎用性と迅速性を向上させる新規かつ独創的な構成手法を示しており、情報科学へ貢献するところ少なくない。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。