

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 黄 沿江

黄 沿江提出の本論文は「**Configuration design of manipulator system for multiple-goal tasks considering multiple criteria** (複数基準を考慮した多点到達作業を遂行するマニピュレータシステムのコンフィグレーション設計)」と題し、全6章より構成される。

この論文は、複数基準を考慮した多点到達作業を遂行するマニピュレータシステムのコンフィグレーション設計とゴールのばらつきがある多点到達作業に対するロバスト最適化問題を扱っている。マニピュレータシステムのコンフィグレーション設計(マニピュレータシステム機種選定, 配置設計, 要素同士の協調動作生成)は、生産工場における作業の効率的利用とマニピュレータシステムのコストの低減の観点から重要である。ゴールのばらつきがある多点到達作業に対するロバスト最適化は、ゴールのばらつきがある多点到達作業の完了の観点から重要である。

第1章において、マニピュレータシステムが生産現場に広く受け入れられ、様々なアプリケーション、特に多点到達作業に適用されていることを述べている。マニピュレータシステムのコンフィグレーション設計とゴールのばらつきがある多点到達作業に対するロバスト最適化という二つの問題が実用的な観点から重要であることを主張している。それら二つの問題に対するチャレンジポイントと提案手法の概要を示している。

第2章において、マニピュレータシステムのコンフィグレーション設計とゴールのばらつきがある多点到達作業に対するロバスト最適化という二つの問題を分析している。この章では、まずこれら二つの問題の特徴を分析している。次にこれら二つの問題を解決することが必要である理由について述べている。最後に最適化の視点から、計算時間について議論している。

第3章において、マニピュレータシステムのコンフィグレーション設計に関する提案手法について述べている。与えられた外観検査という作業内容に対して、作業時間とコストの両方を考慮したマニピュレータシステムのコンフィグレーション設計におけるパレート最適解を合理的な時間内で導出する方法を提案している。ここでは6自由度多関節型マニピュレータと1自由度の位置決めテーブルとツールから構成されるマニピュレータシステムを対象とする。システム構成の設定(システム部品の結合関係)も考慮した。提案手法では、問題の階層性を考慮して、三つのループから構成される方法を提案した。候補となるマニピュレータシステム群の中から適切なマニピュレータシステムと構成の設定を選定する方法として、**multiple objective particle swarm optimization (MOPSO)** 法を採用した。これが外側のループになる。作業時間を導出する上で、マニピュレータシステムにおける構成要素の配置設計や要素同士の協調動作生成を組み入れた。配置設計には **particle swarm optimization(PSO)** を採用した。これが中間のループになる。協調動作生成には **nearest neighborhood algorithm (NNA)** を用いた。これが内側のループになる。五種類の問題設定において提案手法と従来手法(ランダムサーチを含める方法)を比較することで提案手法の有効性を示した。計算時間は一時間以内に制限した。結果の評価には **Retrieval performance evaluation (F 値)** を採用した。提案手法は従来手法より、F 値が 72.4%向上した。シミュレーションの結果により、**MOPSO** と **PSO** を採用した提案手法の有効性を示した。

第4章において、ゴールのばらつきがある多点到達作業に対するロバスト最適化に関する提案手法について述べている。与えられたピックアンドプレースという作業内容に対して、部品の流れを考慮した適切なディスパッチングルールの組み合わせを合理的な時間内で導出する方法を提案する。ここでは複数台マニピュレータと移動コンベアから構成されるマニピュレータシステムを対象とする。ピックアンドプレース作業に対して、コンベア上の部品はある確率分布に従うので、ゴールのばらつきが発生する。ゴールのばらつきがある作業に対して、ロバスト解を導出することが必要である。すなわち、ピックアンドプレース作業に対して、**maximum minimum-maximal** の部品の流れと適切なディスパッチングルールの組み合わせを導出することが必要である。提案手法では、候補となるディスパッチングルールの組み合わせ群の中から適切なディスパッチングルールの組み合わせを探索する方法として、**greedy randomized adaptive search procedure (GRASP)** 法を採用した。

一つのディスパッチングルールの組み合わせに対する最小-最大の部品の流れを推定するために、Monte Carlo strategy (MCS) を採用した。提案手法と従来手法を比較することで提案手法の有効性を示した。計算時間は10時間以内に制限した。マルチマンピュレータシステムがディスパッチングルールの組み合わせ(最後のマンピュレータが First-in first-out (FIFO) というディスパッチングルール, 他のマンピュレータが shortest processing time (SPT) というディスパッチングルールを使用する)を採用することで、システムの性能が向上した。結果の評価には作業の成功率を採用した。10,000 パターンがある作業に対して、提案手法で導出した作業の成功率は99.4%となった。二つの従来手法より、それぞれ77.3%, 19.6%向上した。

第5章において、第3章と第4章での提案手法の適用範囲について述べている。マンピュレータシステムのコンフィグレーション設計に対する提案手法は、様々な多点多到達作業に適用可能である。ゴールのばらつきがある多点多到達作業に対する提案手法は、ゴールが多様かつばらつきのある多点多到達作業に適用可能である。第3章と第4章の提案手法は組み合わせ可能である。

第6章において、結論と今後の展望について述べている。多点多到達作業に対して、作業時間とコストの両方を考慮したマンピュレータシステムのコンフィグレーション設計におけるパレート最適解を合理的な時間内で導出した。問題の階層性を分析し、適切なアルゴリズムを提案し、他手法に対する有効性を示した。ゴールのばらつきがある多点多到達作業に対して、ロバスト解を合理的な時間内で導出した。適切なアルゴリズムを提案し、他手法に対する有効性を示した。

本論文では、マンピュレータシステムのコンフィグレーション設計を、最適化問題として定式化した。多点多到達作業を遂行するマンピュレータシステムのコンフィグレーション設計に対する提案手法とゴールのばらつきがある多点多到達作業におけるロバスト最適化に対する提案手法を定量的に評価した。これによって、本論文はマンピュレータシステムの効率の向上に対し有用であると考えられ、重要なものであると言える。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。