

## 審査の結果の要旨

氏名 フィゲロア エレディア ホルヘ ダビド

フィゲロア エレディア ホルヘ ダビド提出の本論文は「**Teaching Multiple Robots using Tools Based on Robots Capabilities** (ロボットの性能を考慮した、ツールによる複数ロボット教示)」と題し、全 6 章より構成される。

この論文では、複数ロボットシステムへの動作教示の問題に焦点を当て、一人の教示者の動作を、適正な台数のロボットに分解することにより、複数ロボットの動作教示を容易化する方法を提案している。昨今さまざまなアプリケーションが、狭隘環境におけるロボットの適応的な動作生成を要請しており、小型複数ロボットシステムの重要性が増していることがわかる。複数ロボットシステムにおける大きな問題の一つが動作プログラミングである。ロボットが  $n$  台存在した場合、通常の教示手法を用いると 1 台の時と比較して  $n$  倍の時間がかかり、このことが複数ロボットシステムの実環境への適用を妨げている。また、与えられた作業に対して何台のロボットが必要かという見極めが難しい。本論文では、この問題を扱う。ロボットが遂行すべき作業のほとんどが物体操作を含むという知見に基づき、物体操作作業を教示対象としている。また、現状存在するロボットの物体把持能力は人間と比較して低いため、そのギャップを適切に埋められる教示方法を提案している。

この前提に基づいて、この研究の第一のポイントとして、人間による作業の実演中に利用する教示用ツールを提案している。当該ツールの設計は、ロボットに搭載されているエンドイフェクタと同様な形態を有しつつ、人間とロボットの能力の差異を吸収するように人間の動作にある種の制限（可動範囲や指の動き）を加えるべく設計なされている。このツールを人間が操作しその情報をロボットに伝えることで、能力に限界があるロボットでも再生できる動作を人間が容易に生成することを可能としている。ロボットが動作するプログラムを抽出するために、教示中に人間を適切に誘導する GUI (Graphical User Interface) により、複数センサや複数アクチュエータを表示、駆動するシステムを提案している。提案ツールを使った場合と従来型ティーチング機器を用いた場合とを比較した実験を行った。教示された動作、ロボットから物体に加える力については両者とも同様な性能が保たれた。一方、教示に要する時間については、提案ツールを用いた方が迅速に教示できた。これより提案法の有効性を示した。

第二のポイントとして、物体の操作形態の多様性に応じて適正ロボット台数を割り出し、それらのロボットに動作を振り分けるシステムを提案した。まず簡易データグローブ的形状の教示ツールを用いて人間が動作を生成し、教示システム内の GUI を用いてそれらの動作を適切に生成する方法論を提案した。人間は、教示システムの指示内容に沿って動作を生成し、自らの動作を有限状態機械の形式で記述する。次に人間の動きを捉えたセンサ値と必要なロボット台数やロボットの動き方に関するルールベースを用いて、目的とする物体操作を

実現する複数台のロボットの動作記述（これもセンサベースのイベントにより遷移する有限状態機械の形式で記述されている）を達成している。この際、複数ロボット間の協調は物体を介した暗黙的な通信により実現できる。これより、人間の動作から半自動で適切にロボット動作を生成できるシステムを提案できた。物体の持ち上げ、物体の傾け、椅子の展開等の四種類の作業を人間が教示し、対応するロボット動作プログラムが生成できることを確認した。

第三のポイントとして、ここまでで得られた動作軌道を改良することでより迅速なロボット動作を実現する方法論を提案している。教示時には、安全確実な動作達成を目指すため、ロボットはある瞬間において常に一軸しか動かない動作となっているが、これを、各軸を同時に動かすべく改良することで作業時間の短縮を達成できた。また、ロボットに搭載された複数種類センサ情報をフィードバックするサンプリング周期と、ロボットに指令を与えるサンプリング周期を適切に反復学習することで、作業実行の確実性と効率性を両立させることが可能となる。このような調整により、前述の4種類の作業に対する、有限状態機械の形式で与えられたロボットプログラムの動作時間を6~7割程度短縮することが可能となった。このことはロボット動作の迅速化の観点から重要な貢献である。

ここまでを示した3つの成果により、一般的に時間がかかると言われている複数ロボットの動作教示問題を扱う教示システムを提案し、その有効性を、いくつかの作業を対象とした実験により示すことができた。

これらの成果により、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。