

氏名	Raafat Ahmed ABDEL Azim Mahmoud
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	第5825号
学位授与年月日	平成24年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位論文名	Studies on Intelligent Interaction between Humans and Robots (人間とロボット間の知的協調に関する研究)

論文審査委員	主査 教授 原 晋介	副査 教授 岡 育生
	副査 教授 鳥生 隆	副査 准教授 高田洋吾

## 論文内容の要旨

近い将来、人間とロボットが同じ環境中で共存する日が来るだろう。人間は、環境と容易に相互作用し、そこから学習することができるが、現在のロボットには無理である。人間の手助けが重要なのはもちろんであるが、それ自身で人間や環境と相互作用することができるロボットの開発に対する要求が高まっている。近年、そのような要求に対して多くの理論的なアプローチが提案されている。しかし、こうした研究成果を実世界に適用するためには、設定すべき多くの異なるパラメータを考慮しなければならず、あらかじめ適切に設定することは困難である。

本論文は、このような人間とロボットの知的協調に関し、遠隔操作型のロボットハンドとロボットへの教示の2つの研究分野で新しい装置と方法を提案し、その特性を実験により明らかにした。

第1章は序論であり、研究の背景を述べた後、本研究でハードウェアとして使用するシステムと環境について解説し、ロボットに解かせる問題設定について解説した。

第2章は、開発した人間と相互作用し人間を手助けするために働くロボットハンドについて、その特性を明らかにした。このロボットハンド(OCU-Hand)はインタラクティブなアプローチを可能とするために、表面に触覚センサを貼り付け、フィードバックを得るために使用する。OCU-Handは、データグローブを用いてマスタ・スレーブ方式で操作されるが、新たな操作法として「支援モード」を開発し組み込んだ。支援モードでは、ロボットハンドが物体を把持した状態で、操作者がデータグローブをはめたまま別の作業を行うことができ、操作性が著しく向上すること確認した。OCU-Handの持つ性質、すなわち人の手に類似した大きさ、軽量さ、自由度の多さ、新たに開発した操作法によって、従来のロボットハンドではできない操作を可能とした。

第3章は、ヒューマノイド・ロボットにタスクを実演しながら教示するシステムを詳細に解説し、その教示を実現できる、まったく新しいアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャでは、タスクのゴール自体も教示によってロボットが学習することができる。

第4章は、第3章で提案したアーキテクチャ実現の具体例として、三目並べという対戦型ゲームを取り上げ、教示アルゴリズムを実装した。この教示アルゴリズムでは、盤の状態を観察し、内部の状態モデルを更新し、その変化から過去の経験と知識に基づいて行動を決定できる。人間はロボットと普通に対戦するだけでなく、ゴールを学習するための教示として、ロボットが勝利を決める手や防御する手を実演して教えることができる。最後に実験を行い、提案アルゴリズムの有効性を確認した。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめて結論を導き、かつ残された課題を整理して今後の研究の方向性と発展性について言及した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文で取り上げる人間とロボットの知的協調は、工場等における作業の効率化の他に、高齢者人口の増加による介護の効率化等において、今後ますます重要になってくると思われる。ロボットのハードウェアあるいはソフトウェアのどちらかだけに重点を置いて研究されることが多いのに対し、本論文の特筆すべき点は、その両方に挑戦し、ハードウェアとしての新しいロボットハンドと、ソフトウェ

アとしての新しい教示法を開発し、その特性を実験によって明らかにしたところである。

従来のロボットハンドの開発では、大きさ、重量の超過、自由度の不足が問題となってきた。軽量化のためには、アクチュエータを離して設置する腱駆動機構が有効であるが、指先の位置精度の低さや、パワーロスが問題となってきた。本論文で開発した **Osaka-City-University-Hand (OCU-Hand)** は人の手と同等の大きさで、従来のロボットハンドよりもかなり軽量である。また 5 本の指を持ち、全 18 自由度という大きな自由度を持っている。アクチュエータとしてサーボモータを関節部に内蔵しているので、指先の位置精度の高さやパワーロスの減少を期待できる。

一方、ヒューマノイド・ロボットにタスクを実演しながら教示する研究では、対戦型ゲームを対象として、ゴール自体も教示によって学習するアーキテクチャを提案している。このアーキテクチャは、人が相互作用の経験からタスクを学習する方法を模倣して構成されている。三目並べをタスクとして、盤の状態を観察し、内部の状態モデルを更新し、その変化から過去の経験と知識に基づいて行動を決定している。人間はロボットと普通に対戦するだけでなく、ゴールを学習するための教示として、ロボットが勝利を決める手や防御する手を実演して教えることができる。その際に、その手の意味を、ロボットとの対話によって教示する。この仕組みによって、あらかじめゲームのルールを知らないロボットが、効率的にルールと戦略を学習し、勝率を著しく向上させることを明らかにしている。

この研究成果は、情報工学における人間とロボットの知的協調に関する研究の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は、博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。