

氏名	原田 篤			
学位の種類	博士（工学）			
学位記番号	博 甲 第 8 5 3 5 号			
学位授与年月日	平成 30年 3月 23日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	システム情報工学研究科			
学位論文題目	接触に基づくマニピュレータ作業空間の自律的学習に関する研究			
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	鈴木 健嗣	
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	中内 靖	
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	矢野 博明	
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	望山 洋	
副査	名古屋大学 教授	博士(工学)	長谷川泰久	

論文の要旨

近年、多自由度マニピュレータを持つロボットの作業空間の多様化が進み、人々の生活環境などロボットが未知環境で適切に動作することが期待されている。特に、人間型ロボットのように自由度が多い場合には、自己衝突や外部環境との衝突を引き起こす場面が多くあり、それらを回避するもしくは自身の構造を保護するように動作するのが一般的である。しかし、ソーシャル・ロボットに代表されるような人とともに動作するものなど多様化するロボットの動作環境においては、予め動作する環境を整備することは困難であり、外部環境の認識に加え、ロボットの能動的な動作も含めた動作計画を策定するためには、解決すべき多くの課題が残っている。

そこで本論文の著者は、マニピュレータによる能動的な動作に基づき自己及び環境との相互作用を通じて自身の作業空間を自律的に学習する新しい手法を提案し、車椅子への搭載やソーシャル・ロボットといった人に近接して動作するロボットを対象とし、従来課題であった接触を積極的に用いることで環境の変化に対して適応可能なシステムを構築した。本手法は、可動領域を学習するため、少ない学習データでも汎化能力の高い学習が可能であるベイズ学習を用いている。さらに、外部環境のモデルを予め用意せずに、関節駆動部に生じる動作負荷に基づき、マニピュレータの能動的な動作により作業空間上における可動領域を学習することで、マニピュレータ作業空間の自律的な学習が可能となることを示し、自身を含めた環境の変化に適応することが可能であることを明らかにしている。

本論文は全6章からなり、これら一連の研究成果が纏められている。以下に概要と評価を述べる。

第1章は序論で、本研究の位置づけと研究の背景、及び研究目的を述べている。また、マニピュレータの制御、学習と自己モデル化に関する関連研究を紹介している。

第2章では、提案する過負荷検出モデル、能動的な可動領域の獲得、可動領域の確率的学習、可動

領域を用いた経路計画について詳細に述べるとともに、マニピュレータの適用に向けた物理的な動作・制御についてその位置付けを明らかにしている。

第3章では、実験に用いるためのロボットシステムの構成について述べている。マニピュレータのハードウェア、及び提案手法のソフトウェア構成について述べ、能動的な可動領域の獲得と自己モデルの確率的学習に関する実装方法について述べている。

第4章では、開発したマニピュレータを用いた実験結果を述べている。エンドエフェクタに対する過負荷検出実験の結果とともに、1自由度・多自由度にて環境変化への適用が可能であることを示している。さらに、混合正規分布モデルの変分ベイズ学習による可動領域の学習により、可動領域の探索と構造変化に対する有効性を実機実験を通じて明らかにしている。

第5章では、提案手法の妥当性を含めた実験結果に関する考察と評価を行っている。特に、未知環境での動作への適応の可能性を検証している。

第6章では、研究成果のまとめに加え、提案手法の応用として車椅子搭載型マニピュレータや義手、及び他のロボットなどにおける応用の将来展望について述べている。

審査の要旨

【批評】

本論文は、多自由度を持つロボットマニピュレータにおいて、実環境で人とともに動作する系における本質的な課題である未知環境での動作について、自己保存の観点から新たな制御手法の可能性を見出すものである。ここでは、関節駆動部のアクチュエータに流れる電流を計測し、異常な接触などによる駆動部の保護を行うとともに、その際の姿勢情報に基づき自身が動作可能な領域を学習する手法を提案した。さらに道具の利用による自身の構造の変化や障害物の挿入による環境変化など、自己衝突や外部環境との衝突が発生するといった環境への接触が前提とされる状況でマニピュレータを制御するという工学的課題に新たな解決方法を提供している。ここでは理論的な考察のみならず、実機実験を通じて、変分ベイズ学習を利用することで関節角度空間上でロボットの可動領域に関するベイズ識別面が作成する提案手法の有効性及び妥当性を明らかにしている。

本研究は、ロボット工学分野において、ロボットが接触を積極的に利用した外部環境との相互作用に関する知見という学術的意義とともに、実世界で獲得するデータに基づき動作を学習し自己の作業空間を獲得するという人工知能技術の新しい応用の可能性を拓くものとして高く評価できる。

これらの成果は、ロボット工学のみならず、機械学習及び人工知能の発展に資すること大である。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として相応しいものであると認める。

【最終試験の結果】

平成30年2月6日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。