

審査の結果の要旨

氏 名 北川 晋吾

本研究は「タンジブルインタフェースを用いた操縦自律間横断学習ロボットシステムの構成法」(Robot system architecture of transversal learning between maneuvering and autonomy using tangible interface)と題し、操作者が操作対象物を手にとって直接触れるようにロボットを操縦するタンジブルインタフェースと、その操縦経験から作業手順を獲得し、さらにその自律操作実行時に随時作業手順を変更できる、操作自律間で横断的に利用可能な学習ロボットシステムの構成法を示したものであり、全8章からなる。

第1章「序論」に続き、第2章「物体操作作業の操縦自律間横断学習ロボットシステム」では、物体操作作業における操縦と自律について整理し、従来操縦ロボットと自律ロボットと分かれていた学術分野において、操縦実行時には作業動作の組み合わせ順序を作業手順として教示学習し、自律実行時には作業の動作そのものを自律学習していく操縦自律横断学習ロボットという新しい視点で統一的に理解することの重要性を議論し、操縦・自律の双方のシステム間で作業手順を共有し、常に学習しながら作業を継続的に実行することで、過去の実行・学習経験に基づいて効率的に作業手順を獲得し、自律の途中で操縦に切り替えて作業手順を即応的に変更することの重要性について述べている。

第3章「操縦自律間横断学習ロボットシステムのハードウェア・ソフトウェア構成」では、操縦自律間横断学習を実現するためのロボットシステムのハードウェア・ソフトウェア構成について述べている。

第4章「タンジブルインタフェースによる作業手順の教示学習」では、操縦自律横断学習のためのロボットの物体操作作業記述として、対象物の回転・接触状態をノード、その間の遷移を表すエッジをロボットの動作とする有向グラフによって作業手順を表す対象物中心の記述を採用し、対象物の姿勢と環境やロボットとの接触関係に基づき、作業手順を効率的に追加学習可能な形で表現する方法を提案した。さらに、その教示学習デバイスとして近接センサとIMUを用いて対象物との接触・回転状態を表現でき、立方体形状の人が物理操作可能なロボットの操作教示用のタンジブルインタフェースを世界で初めて提案している。また、この手法による作業手順の教示学習の有用性を複数対象物が接触しあう物体操作作業にて実証している。

第5章「実世界適応による動作戦略の自律学習」では、動作戦略を自律学習するための学習型動作戦略の構成手法と、その実世界適応による自律学習手法について論じている。CNN把持点予測器によって構成された学習型動作戦略のシミュレーションと実世界での動作試行を用いた実世界適応を用いて、接触の多い複雑な動作の動作戦略を自律学習する手法を提案し、この手法による動作戦略の自律獲得の有用性を倉庫環境での双腕ピッキング作業にて実証している。

第6章「物体操作作業の操縦自律間切替実行ロボットシステム」では、操縦と自律が切り替え可能な学習ロボットシステムを実現するための操縦自律間切替実行システムについて述べている。作業の各動作の開始直前にユーザの音声入力に応じることで作業を継続的に実行しながら操縦と自律を切り替える手法を実装し、この手法による操縦と自律の切り替えながらの作業継続実行と操縦から自律への切替による即応的な作業手順の教示学習を示している。

第7章「物体操作作業の操縦自律間横断学習ロボットシステムの評価」では、操縦と自律の間で作業の手順を表す動作順序と動作を制御する動作戦略を横断的に学習する操縦自律間横断学習ロボットシステムの有用性評価を行っており、作業の途中でタンジブルインタフェースを用いた操縦に切り替えることで過去の経験を再利用しながら効率的に新たな作業手順を教示獲得可能なことと、獲得した新たな作業をその場で実行しながら、その実行中に再度操縦に切り替えて更なる物体操縦手順を教示獲得可能なことを示している。

第8章「結論」では本研究の成果をまとめている。

以上、これを要するに本論文は直感的なロボットの操縦経験に基づいて自律的な操作手順を獲得するだけでなく、その自律操作実行中の割り込みにより操縦による手順の追加変更可能な、操作と自律の2つの実行形態間で作業に関する知識を共有し、横断的な学習が可能な操縦自律間横断学習型ロボットシステムの構成法を提案し、実ロボットの双腕物体操作において実証的に示したものである。また、その具体的な構成要素として対象物の状態の変化とそのための操作接触に注目した作業記述、タンジブルインタフェースによる動作順序の教示学習手法、実世界適応による動作戦略の自律学習手法、ユーザ入力に応じた操縦自律間切替実行システムとして明らかにしており、本論文の研究は、情報理工学に関する研究的意義と共に、情報理工学における創造的実践に関し価値が認められる。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。