

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 チャン ウェスリー パトリック

本論文は、「Affordance-Focused Learning and Generalization through Observation of Proper Handovers and Object Usages in Robot-Human Interactions(ロボットと人のインタラクションにおける適切な手渡し動作と物体操作の観察に基づくアフォーダンスに着目した学習と一般化に関する研究)」と題し、人が物の手渡しを行っている動作や物体操作の様子をロボットが観察することで物のアフォーダンスに基づいて適切な手渡しを行うための学習と一般化に関する研究をまとめたものであり、7章からなる。

第1章「Introduction」では、人とロボットのインタラクション研究、手渡し動作に関する研究を概括し、本研究の目的とここで着目している物体のアフォーダンスを説明し、研究の位置付けと流れを述べている。

第2章「Motivation and Related Works」では、物の手渡し動作が可能となるロボットを研究する動機、手渡し動作の重要性、手渡し動作の構成要素、適切な把持姿勢を決定する問題の難しさ、関連研究について述べている。物の受け渡しは、人の予測に合致し、効率よく安全で、社会的な様式に則っていることが求められ、ロボットと人のインタラクションにおいて大変重要な位置づけのものであるとしている。物の受け渡し行動の構成要素として、注視、近づき、手のリーチング、受け渡しの契機、把持の形、力制御を挙げ、それぞれについて関連研究とともに論じている。そして、手渡す際に物を適切な姿勢で把持しておいて手渡しをすることの重要性を指摘し、物の把持姿勢は物ごとに固定ではなく、受け渡しを考えて把持する場合は相手が受け取ることを考えて把持する姿勢を決めることが重要であり、それをどのようにロボットが獲得してゆくかという課題を本研究での課題とし、把持姿勢を決める他の研究を示し、本研究でのアプローチを説明している。

第3章「A Framework for Learning Object Handovers from Observations and Interactions」では、本研究で提案している観察から物の受け渡し行動を獲得してゆくための全体の枠組みを示している。全体は観察学習のフェーズと行動への応用フェーズに分かれ、観察学習のフェーズにおいては人による物の使い方と手渡し動作の観察を行い、知識ベースとして構築してゆく。行動への応用フェーズでは、未知の新しい物体を人が扱っている様子を観察し、その物を受け渡しするための把持姿勢を決定してゆき、その物を手渡しのために把持するための姿勢をロボットごとの動作計画器へ適用し、ロボットにより実際の手渡し動作を実行制御する。手渡し動作の実演からの学習方法、把持姿勢の分類、観察からの適切な把持姿勢の決定方法などの概要を示し、他の研究と比較し議論を行っている。

第4章「Characterization of Handover Orientations used by Humans and Method for Computing Appropriate Handover Orientations from Observations」では、手渡し動作を行うユーザ調査を行い、人が物を受け渡すときの物の方向を分析し、適切な手渡し方向を計算する手法について述べている。手渡し方向のパターンを認識するために、アフォーダンス軸という新たな概念を提案し、手渡し方向の平均を計算するために、距離最小化手法を用いる。本調査によって、自然な手渡し方向は必ずしも受けて側中心の方向ではない事と、アフォーダンス軸の方向を用いることで、観察した手渡し方向データの質を評価可能なことが明らかになったと述べている。この結果に基づいて、次章以降でフレームワークの実装を行ってゆく。

第5章「An Object Grouping and Classification Method based on Observation of Object Movement Patterns and Inter-object Interactions during Usage for Generalization of Handover Grasp Configurations」では、物体の手渡し姿勢の一般化に対する課題に対処するために、物体の移動と物体間の相互作用の観察からアフォーダンスに主眼をおいた物体のグループ分けと分類手法について述べている。具体的には、物体が使用される際の動きと物体間の相互関係から動作特徴を抽出し、アフォーダンス情報を取得する。実験結果より、抽出された動作特徴を用いることで、類似なアフォーダンスを持つ物体のグループ分けと新たな物体を分類できることを示している。これまでに示されてきた手渡し研究では新しい物体に対する把持姿勢の一般化に関する取組がかけていたが、この類似性による分類手法により新しい物体に対する把持姿勢を決める機構をフレームワークへ導入している。

第6章「An Implementation of the Framework for Learning Object Handovers from Observations onto a Robot and its Validation」では、提案しているフレームワークをヒューマノイドロボットHRP2Vに実装し、その検証実験について述べている。把持された物体の姿勢を検知する課題に対して、物体が遮蔽される前に認識し、シーケンシャルモンテカルロ法を用いて物体をトラッキングし、ロボットが観察から把持姿勢を学習し、新しい物体を渡すために適切な把持姿勢を計算できることを実験により示している。提案したフレームワークの拡張法として、物体以外の要素をも考慮するようにすることと、異なるロボットで獲得した知識ベースを他のサービスロボットへの応用への統合についても議論し、HRP2で得た知識を別のパーソナルロボットPR2を用いてその考えを実証する実験を示している。

第7章「Conclusion」において、本研究での要点を総括し、本研究の貢献は、様々な物体の手渡しのための適切な把持姿勢を自動的に決めてゆくための学習型のフレームワークを示し、人の手渡し動作の観察からアフォーダンス軸を導入した物体の把持姿勢を表現する方法を提案し、それを実際のロボットで実装し手渡し実験を行うことで、提案フレームワークの有効性を実演したことであると述べ、今後の発展の方向性として、将来の人とロボットの間での効率的な共同作業などについて述べている。

以上、これを要するに、本論文は、人とロボットが共存する環境で物を手渡しするロボットの機能は将来のサービスロボットでは大変重要であるが、受け手のことを考えた手渡しが考慮されるには、人の手渡し動作から物体の把持姿勢情報をロボットが獲得し、新しい物体の場合にもそれまで獲得した知識ベースをもとに類似したアフォーダンス軸を持つ物体の情報から手渡し動作を行うロボットのフレームワークの提言の評価をまとめたもので、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する価値が認められる。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。