

論文の内容の要旨

論文題目 操作応答の知覚による物理的整合性推論に基づく
 ヒューマノイドの試行獲得型マニピュレーション

氏 名 室岡 雅樹

本論文では、マニピュレーションにおける物理的意味をロボットに理解させ、試行結果に応じて適応的な行動をとる能力を獲得させることで、実世界の幅広いマニピュレーションタスクをヒューマノイドロボットにより実現することを目的とする。そのために、マニピュレーションにおいてロボットと物体の状態や特性が物理法則と照合して整合性がとれているかを評価する手法を基盤として、ロボットがセンサ情報に応じて実現可能な行動を自律的に決定し実行する試行獲得型マニピュレーションの枠組みを提案する。本研究は、マニピュレーションにおける物理的意味の理解という実世界で活動するロボットに不可欠の能力の獲得を目指すものであり、ロボットを日常の幅広い分野へと展開させるために必要な知能の実現を見据えたものである。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的について述べ、物理的整合性推論に基づくヒューマノイドの試行獲得型マニピュレーションへの本論文の方針を示した。

第2章「物理的整合性推論に基づく試行獲得型マニピュレーション」では、従来のロボットマニピュレーション研究を自律機能の対象タスクへの汎用性とモデルとパラメータへの適応性に従って整理した上で、本研究で提案する物理的整合性推論に基づく試行獲得型マニピュレーションにより汎用性と適応性が拡大されることを説明してその有用性について述べた。

第3章「ロボットマニピュレーションにおける物理的整合性推論」では、マニピュレーションにおけるコンフィギュレーションとモデルパラメータを定義し、接触を表す変数を導入することで、これらが満たすべき幾何制約、力学制約を定式化した。また、物理的整合性推論を、ロボットや物体のコンフィギュレーションとモデルパラメータが実

現可能であるための制約を満たすか評価することと定義し、この計算法を確立した。さらに、物理的整合性推論に基づいた計画法、推定法の枠組みについて説明した。

第4章「操作実現性評価に基づくロボットマニピュレーション計画」では、マニピュレーションにおける計画を、初期状態から目標状態までの実現可能なコンフィギュレーションの列を探索する問題と定め、物理的整合性推論による操作実現性評価に基づく計画法を提案した。4. 2節では、実現可能な物体のコンフィギュレーションと接触の遷移を表す物体操作状態グラフの経路を探索することで物体操作を計画する手法について述べ、4. 3節では、ヒューマノイドロボットが全身の部位を物体に接触させる運搬動作を実現するために幾何干渉計算によりランダムベースに全身接触運搬姿勢を生成し大きな操作力の必要な運搬動作を安定に実行する手法について述べた。

第5章「物理特性の尤度評価に基づくマニピュレーションパラメータ推定」では、マニピュレーションにおける推定を、センサ情報からロボットや物体の幾何、力学モデルパラメータを推定する問題と定め、物理的整合性推論による物理特性の尤度評価に基づく推定法を提案した。5. 2節では、センサ情報から物体力学特性の尤度を計算し逐次ベイズ推定によってその確率分布を更新する手法について述べ、5. 3節では、視覚情報や力覚情報を時系列的に統合し物体の形状モデルを生成する手法について述べた。

第6章「マニピュレーション対象物体の姿勢認識と運動予測」では、マニピュレーションにおける制約やタスクの目的に深く関連する物体の運動について、その認識法と予測法を提案した。6. 2節では、ロボットが操作対象物の一部の領域のみを観測している場合に三次元点群や把持位置等のセンサ情報から物体姿勢を認識する手法について述べ、6. 3節では、深層学習ネットワークモデルによって視覚情報と操作情報から特徴を抽出し物体の運動を予測する手法について述べた。

第7章「操作応答の知覚によるマニピュレーション行動の試行獲得」では、計画と推定を逐次並列的に実行することで、ロボットが試行的に動作を実行したときの知覚に基づいて適切な行動を獲得する手法について述べた。さらに、計画、推定、認識、制御等の機能を統合して物理的整合性推論に基づく試行獲得型マニピュレーションシステムを構築し、実世界における多様なマニピュレーションタスクに適用することで、高度なマニピュレーションスキルの統一的な扱いが可能となることを示した。

第8章「結論」では、本研究を総括し、結論と今後の展望について述べた。

以上、本論文は、マニピュレーションにおける物理的意味をロボットに理解させ、試行結果に応じて適応的な行動をとる能力を獲得させることを目的として、マニピュレーションにおけるコンフィギュレーションやモデルパラメータの物理的整合性を推論する計算法を提案し、マニピュレーションの計画、推定へ適用してその有効性を評価した。また、計画法や推定法を統合することで試行獲得型マニピュレーションシステムを構築し、高度なマニピュレーションスキルを伴う実世界での多様なタスクをヒューマノイドロボットにより実現した。