審 査 の 結 果 の 要 旨

氏　　名　　室 岡　雅 樹

本研究は「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」と題し，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の構成法を，マニピュレーションにおける物理的意味の理解，試行結果に応じた適応的行動生成法，ヒューマノイドロボットによるマニピュレーションタスクの実現法から明らかにしたものであり，全8章からなる．

第1章「序論」では，研究の背景としてロボットによる実世界の幅広いマニピュレーションタスクの実現には物理的な常識に基づいた知能が必要であることを指摘し，研究の目的を，マニピュレーションにおける物理的意味を理解し，試行結果に応じて適応的な行動をとる能力の獲得する知能の構成法の解明と定めた．

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，自律機能がもたらす対象タスクへの汎用性と，異なるモデルとパラメータへの適応性に従い整理し，本研究で提案する物理法則と照合してタスクが実行可能であるかを計算する，物理的整合性推論に基づいた試行獲得型マニピュレーションにより，これらの汎用性と適応性が拡大されることを主張している．

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上で，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充足性の評価として定義した．物理的整合性推論は凸最適化問題として定式化し，これを二次計画問題として計算する方法を示した．さらに，物理的整合性推論に基づいたマニピュレーションの計画法，モデルパラメータ推定法の枠組みについて提示した．

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，物理的整合性推論による操作実現性評価に基づき，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を構成し，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ことで，物体の幾何制約，力学制約を満たす物体操作の計画法を示した．さらに，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も提案した．

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，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と，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を提案した．

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対象物体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と，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物体の運動を予測する手法について述べ，マニピュレーションにおける制約やタスクの目的に関わる物体の運動について，その認識と予測を可能にした．

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，物理的整合性推論に基づく計画と推定を逐次並列的に実行することで，ロボットの試行的な動作と知覚に基づき，物体の幾何，力学モデルパラメータを推定しつつ実行可能な動作を生成しながら，最終的に適切な行動を獲得する手法について述べ，計画，推定，認識，制御等の機能を統合した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の構築し，実世界における多様なマニピュレーションタスクへの適用を通じて，高度なマニピュレーションスキルを統一的に扱えることを実証的に示した．

第8章「結論」では，学術的貢献として，ロボットによるマニピュレーションの物理的意味理解，操作応答の知覚による適応的なマニピュレーション行動の試行獲得，対人協調，教示，道具利用の各マニピュレーションタスクの統一的な実現を挙げ，本研究の成果をまとめた．

以上，これを要するに，本研究では，マニピュレーションの状況を規定するコンフィギュレーションやモデルパラメータから，その実現可能性や尤もらしさの評価を行う物理的整合性推論という考え方を軸に，その理論構築から計画，推定，認識手法を具現化し，さらにロボットシステムへの適用までの一連のプロセスを扱ったものであり，いわば，ロボットに物理的な常識を付与し，その物理的意味の理解に基づいて，マニピュレーションの試行結果を通じて適応的な行動を獲得する知能の構成法を示しており，知能機械情報学へ貢献するところ少なくない．

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