

## 審査の結果の要旨

氏 名 李 梓佳

本論文はRobotic Manipulation Teaching System Based on Object-pair Mutual Function Knowledge with a Few Visual Demonstrations (少数の視覚演示と対物体相互機能知識に基づくロボットマニピュレーション教示システム)と題し、将来の家庭用サービスロボットで必要となる操作タスクの教示システムについて論じたものである。

サービスロボットにおける物体や道具を用いた操作タスクでは、筆者がインスタンスレベル教示と呼ぶ従来法によくみられる特定の物体や道具に固定的な操作の教示ではなく、機能カテゴリレベルと呼ぶ、その操作が可能な物体・道具のカテゴリの教示が可能なのが重要であるとの分析から、物体の形状や大きさが異なれど、その機能を司る部位として機能部位の画像幾何特徴に着目し、それと操作のための運動・把持情報の関係を学習する教示システムの構成法に取り組んだものであり、特に少数の演示から、ロボットがマニピュレーションを実行できるための操作知識の学習システムの構成を明らかにすることを目的としている。

論文は次の8章から構成されている。第1章 Introduction を導入とし、第2章 Motivation and Related Workでは本研究で示すロボットマニピュレーション教示システムと既存手法の関連について、特に教示学習時の様式と一般性について議論している。

第3章 Object-pair Mutual Function Knowledge Description and Representation では、機能カテゴリレベルでの知識表現として、操作機能情報を中心とし操作対象物と被対象物のペアからなる対物体情報、操作運動情報、把持位置情報、操作対象三次元情報から構成される対物体相互機能知識を新しいロボットのマニピュレーション知識を提案している。

第4章 Acquiring Manipulation Knowledge through Transparent Teachingでは操作知識の教示手法として透過的教示を議論している。これはロボットが獲得した操作がユーザにも理解可能である点を重視しており、その具体例として指差しによる物体の機能部位の教示を含んだオンサイトの対物体相互機能知識サンプルの教示法と、GUIツールを用いたその仮想教示法を示している。

第5章 Learning Manipulation Knowledge through a Few Visual Demonstrationsでは、獲得した対物体相互機能知識サンプルのデータ拡張並びにマニピュレーション知識を構成するネットワーク学習手法について述べている。このネットワークは、画像情報

に基づく機能部位検出器，物体軌道予測器を統合した構成を提案し，物体ペアの観測から，操作機能，機能部位，操作運動，把持位置を想起するものであり，数個の教示サンプルからマニピュレーション知識が構成可能なこと，未学習の物体でも機能部位に関して類似の幾何形状を有すれば操作運動と把持位置の想起が可能なことを示している．

第6章 A Framework for Manipulation Task Reproductionでは，学習したマニピュレーション知識ネットワークに基づいたタスク実現法について述べている．特に，既知の物体では，入力となる画像情報から対象物のインスタンスセグメンテーションが可能であるが，新規の物体でも直接，機能部位を検出することで，ロバストなマニピュレーション生成が可能なことを示している．

第7章 Home-Assistant Robot Applications Using the Manipulation Teaching System with a Few Visual Demonstrationsでは，これまで述べてきた機能をロボットシステムと統合し，皿への物体配置，注ぎ動作，カット動作，クリーニング動作，引き出しへの片付け，傘掛け，椅子への物体配置の各タスクにおいて，1 から数サンプルの教示から，およそ100倍のデータ拡張を行いマニピュレーション知識ネットワークを学習することで，同一カテゴリながら未教示の物体に対しても操作行動が可能なことを示し，さらにオンラインで新規知識の追加が可能なことを実験を通じて示している．

第8章 Conclusionでは，結論と今後の課題を示している．

以上，これを要する本論文は少数の演示からロボットのマニピュレーション知識を教示するシステムの構成法を示したものであり，特に物体ペアと機能部位に着目した新しい機能カテゴリレベルのマニピュレーション知識を提案し，これにより同一機能カテゴリ物体であれば大きさや形状が異なっても教示知識の再利用が可能であること，画像情報に基づく機能部位検出器，物体軌道予測器を統合した深層学習ネットワーク構成によりにより数個のサンプル教示からのマニピュレーション学習が可能になることを示し，実ロボットシステムとの統合とタスク実現によりその効果を確認しており，知能機械情報学に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．