

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名     チャウドゥリー クリシュニール チャンド

本論文は、「A Visual Tracking Based Object Learning Framework for Interactive Robot Systems(対話型ロボットシステムのための視覚追跡に基づく物体学習フレームワーク)」と題し、大量の学習用教師画像列を得るために画像領域中の大量領域を人手で画像ごとに指示する方法ではなく、物を見続けるための視覚追跡機能をロボットに与え、人が物を把持してロボットへ対話的に提示してゆくだけで物体の教師画像を自動的に得てゆく機能が日常生活支援など家庭環境ごとに異なる物品へ対応しないとイケないロボットでは不可欠であると考え、追跡視覚に基づいて対話的に物体学習を行ってゆく手法の研究をまとめたものであり、7章からなる。

第1章「Introduction」では、本研究の目的がロボットが未知の物体がある環境で対話的にその場の物体を学習してゆくために必要となる物体学習手法であり、そのための課題、物体学習の一般的なパラダイムと本研究で提案する手法を説明し、目指している研究貢献、本論文の構成について述べている。

第2章「Motivation and Related Works」では、本研究の関連研究として、特徴学習、物体追跡、領域分割、領域検出などの視覚認識の要素研究、並びに、ロボットにおける物体モデリングのオフライン生成、人による提示学習法、ロボットによる能動的獲得手法等の関連研究を説明し、本研究が目指す方向と基本的な方針について述べている。

第3章「Visual Tracking Framework」では、提案する視覚追跡方式の構成と特徴を示し、他の手法との比較評価を行っている。提案する視覚追跡方式は、カーネル相関フィルタと2つの深層学習ネットワークを組み合わせたもので、追跡対象の粗い動きの推定をカーネル相関フィルタが行い、その推定された移動領域内から追跡対象の矩形領域と追跡の信頼度マップを深層学習ネットワークにより精度よく得る構成となっている。深層学習処理部は深層比較ネットワークと名付け、テンプレート対象画像と動き推定領域画像のそれぞれに対して各層の重みを共有する2つの深層学習ネットワークで比較処理を行い、追跡対象の対応領域と信頼度マップを生成するという構成となっている。信頼度マップの生成により、対象物の見え方の変化に対するテンプレート更新と、見失った場合の復帰処理も可能となる追跡処理アルゴリズムとしている。本追跡処理アルゴリズムを視覚追跡データセットVOT2014, 2015に適用し、他の追跡処理手法と比較し本手法の有効性の評価を示している。

第4章「Learning from Observations of Human-Object Interactions」では、人が物体を把持してロボットへ提示する状況でその提示物体をロボットが視覚観察し物体として学習してゆく手法について示している。人が物を把持している状態では人の手指が物体を隠すことから、物体と人の手との領域分割処理が必要となり、ここでは3章で示した追跡処理に加えて、物体を含む矩形領域ではなく、画素単位でのセグメンテーション処理を行う深層比較ネットワークを構成することで、人の手と対象物との区別を行い、対象物領域を精度よく検出する手法を提案している。画素単位の手法であるため、人の手による隠れだけでなく、柔軟物など変形する物体の追跡と学習への有効性も実験で示している。また、機械学習方式を使わずに対象の凸形状情報を仮定するヒューリスティックな物体追跡処理との比較実験も行い、深層学習方式の有効性を示してい

る.

第5章「Object Discovery and Affordance Learning」では、環境画像の領域分割から物体としての領域を得るための物体発見処理と、その物をロボットが把持操作するための操作情報を学習する手法について示している。RGBD画像におけるボクセルから物体としての特徴領域へ併合してゆく処理では類似性を比較しつつ併合を行うことから、ここでも2つの深層学習ネットワークからなる深層比較ネットワークにより併合処理を行ってゆく手法を提案し、机上の複数物体の物体領域分割の実験を示して提案手法の評価を行っている。また、物体領域分割された各物体を把持するための把持情報を獲得するために既に公開されている操作情報データセットを利用して構成した深層学習ネットワークを適用することで未知の物体に対する把持領域を検出する方法を示している。

第6章「Applications」では、提案している視覚追跡、対人物体追跡学習、未知物体発見と操作学習をロボットシステムに組み込んで利用する応用実験について示している。対話的に物体学習を行ってゆくロボットとして、机上の物体発見処理を行い、その物体の中で未知の物体かどうかをロボットが認識し、未知の物体であれば把持位置を推定して把持し、人へ手渡しをして人がその物体をロボットへ提示することでロボットが学習を進めてゆくシステム構成と評価実験を示し、日常生活の数多くの物品を日常的に獲得するシステム、物体領域分割からロボットが能動的に物体を操作することで物体領域発見を行うシステム、高速な移動対象の視覚追跡機能の応用例も示している。

第7章「Conclusion and Perspectives」では、本研究の結論と今後の展望について述べている。

以上、これを要するに本論文は、ロボットが物体モデルを実環境から取得することを可能にする対話型物体学習のフレームワークとして、深層比較ネットワーク構造をもつ視覚追跡手法、セグメンテーション、物体領域発見学習アルゴリズムの構成法を示し、実際のロボットで人と対話的に物体学習を行うシステムの実現例を示すことでその有効性を示したものである。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。