

## 論文の内容の要旨

論文題目 生活支援ロボットによる時空間遮蔽近傍情報を用いた  
作用推定に基づく道具利用タスク学習

氏名 長濱 虎太郎

少子高齢化社会を支える技術として、家事や介護を手伝い、高齢者や介護者の負担を減らす生活支援ロボットが注目されつつある。本研究で目標とするのも、家の中で人の傍におり家事等の支援をするロボットである。本論文では、このようなロボットへ、各家庭に固有な家事と家庭内の物体に許される使い方を学習させ、ロボット自身が再現可能な形で家事をおこなっていく際の、主に視覚認識に関する問題点と、複数の観察対象あるいは複数の操作対象同士の遮蔽関係に着目した解決法およびその有用性について明らかにするものである。

第1章「序論」では、研究の背景と、各家庭で生活支援ロボットへ人の手助けをおこなわせる際に必要となる、各家庭に固有な家事方法を、ユーザが家庭内で指示するための手法について比較検討し、視覚教示の有用性を述べるとともに、本論文の目的および構成を述べた。

第2章「作用・機能推定に基づく道具利用タスク学習」では、まず、従来のロボットによる物体操作の視覚学習研究と生活支援ロボットによる道具操作についてまとめ、観察対象や操作対象が薄い、あるいは柔軟性を有する場合に、対象同士の上下・包含・突入関係

の変化を推定することの意義を述べた。しかしながら、対象同士が近接あるいは接触し合う状況下では、遮蔽が発生している場合が多く、このような変化の推定は難しい。そこで本研究では、観察対象や操作対象同士の遮蔽関係である視覚重畳関係を陽に用いることが、対象の観測や対象同士の関係の推定に有用であると考え、視覚重畳関係を用いた複数対象間の関係推定法を提案し、評価するものとした。視覚重畳関係は、一般的なカメラで撮影した画像中で、複数の対象の表面を表す領域同士が、互いに隠しあるいは隠される関係である。人間と類似した観察者視点を与えた場合、二次元相互重畳関係を用いることで三次元的な包含・突入関係を、二次元片側遮蔽関係を用いることで上下関係を、そして運動情報を併用することで、一方が完全に遮蔽された場合にも上下・包含関係を推定できるのではないかと考えた。以降、1) 日常的な道具と操作対象同士の重畳関係の観測の可能性について、2) 視覚重畳関係を用いた物体同士の関係推定の可能性について、3) 視覚重畳関係を用いた物体同士の関係推定を用いた動作・タスク学習の可能性について、4) 生活支援タスクの学習・実行に際しての有用性について、の4点を評価することで、複数の観察対象あるいは操作対象同士の重畳関係に着目した手法が、ロボットのタスク学習あるいはタスク実行において有用であることを示していく。

第3章「道具を用いた生活支援タスクを学習するロボットシステム」では、生活支援をおこなうロボットへの要求機能を述べ、人間と同様の日用道具を操作するための身体と、人間並みの視力を有するロボットの一実現例として、実験に用いる等身大ヒューマノイドのハードウェア及びソフトウェア構成法を示した。広視野視覚と連続視差フィルタを用いて高視力視覚の注意を人の手元へ自律的に向ける手法について述べるとともに、調理道具利用の基礎実験をおこない、道具利用時の問題点と失敗復帰の必要性について論じた。

第4章「空間遮蔽近傍情報を用いた見えない道具の状態推定」では、近接あるいは接触しあう道具と操作対象を観察する際、あるいはロボット自身が利用する状況を想定し、強い遮蔽関係が生じる状況下でも道具と操作対象を追跡し続け、重畳関係を推定することが可能か、そして重畳関係を活用した道具と操作対象の関係推定および、それに基づくロボットの動作学習が可能か否かを検証し、遮蔽された領域の空間的な近傍の情報を用いることで、いずれも可能だという結果を得た。提案手法では道具と操作対象を追跡対象とし、粒子フィルタを用いた各領域の追跡をおこなう。テクスチャの少ない日用道具等に対応し、かつ非遮蔽予測領域のみを用いた尤度計算法を導入することで、追跡対象同士に大幅な遮蔽関係が生じた場合へも対応する。ただし非遮蔽予測領域とは、追跡対象領域のうち、次のフレームにも見えているであろう領域のことを指し、現フレームにおいて他方の対象との間に重なり関係が生じていない領域として計算する。さらに、二つの追跡対象の重なり合う領域について、いずれの対象を手前とした方が尤もらしいかを輝度の差を利用して計算し、重畳関係を決定する。操作中の包丁と果物を同時追跡しながら操作分類をおこなう

実験では、決定した重畳関係と運動の随伴性情報を併用することで、操作対象を上に乗せて動かす、操作対象に切り込むという上下・突入関係の変化を起こす操作の推定がおこなえることを実証した。さらにロボットを用いた料理のよそいつけとファイリング作業という、操作対象の柔軟性や摩擦力の変動により、成功のための動作パラメタが毎回異なり、失敗復帰が必須となる道具利用実験では、本手法を用いて道具と操作対象の上下関係や包含関係を推定し、その関係を用いて観測しにくい方向の動作パラメタを勾配的に変化させることで、操作を成功に導くことが可能であることを示した。

第5章「遮蔽時刻近傍情報を用いた見えない作用推定に基づく学習法」では、袋への収納や片付け等の観察において、観察対象がフレームアウトや互いの遮蔽関係により全く見えなくなる状況を想定し、そのような場合でも観察対象同士の上下・包含関係の変化を推定することが可能か否かを検証し、遮蔽された時刻の近傍情報を用いることで可能だという結果を得ている。本手法では、偽陽性の低い視覚探索手法による、観察対象が認識可能な時刻のみで位置を特定した認識結果を入力とし、観察対象の動きだけでなく、他方の観察対象に載った、あるいは入った、そしてその状態でどこかへ動かされたという関係の変化を推定する。関係の推定には観察対象同士の重畳関係と運動特徴を用いるが、観察対象が認識されていない時刻にはこれらを直接推定することはできない。そこで、観察対象の視認性の有無を含む5つの視覚の手がかりを定義し、各時刻において推定すると共に、計算不可能な時刻の手がかりについて、前後の時刻の他の手がかりを用いて推定するための幾つかの知識を決定し用いる。色による領域推定や改良 LINE-MOD 法による対象追跡結果を入力する実験では、箱のような剛体だけでなく、袋のように形状の変化する物体を対象とした観察学習においても、複数の物体同士の上下・包含関係の変化が推定可能であり、どこでどのような上下・包含関係となるべきかというタスク目的、そしてどのような上下・包含関係を取り得るか、その状態で動かし得るかという観察対象に許される道具的利用法が推定可能であることを示した。

第6章「作用・機能推定結果に基づくロボットの身体に合わせたタスク再現」では、推定された家事タスクの目的と物体に許される道具的利用法という知識が、ロボットがタスク再現時の状況やロボット自身の身体性能に合わせて操作の手順を変更しながら、道具を用いた生活支援タスクをおこなう際に有用であることを示している。本手法では、物体同士の上下・包含関係と道具的利用法を表す述語を定義してタスク目的と道具的利用法を表し、STRIPS タイプのタスクプランナを用いて、許される利用法のみを用いたタスク計画をおこなう。双腕・単腕ロボットによる片付け実験では、ロボットの身体と教わった道具利用法に合わせたタスク計画と実行が可能であることを示した。また、洗濯ネットに入れるべきものを学習し、教わった通りに洗濯物を分類していく実験では、形状が変化する対象に関しても、本手法により上下・包含関係を変化させるような生活支援タスクが学習・

再現可能であることを示した.

第7章「結論」では本論文を総括し、生活支援ロボットによるタスク学習の展望について述べた.

以上、本論文は、ロボットが複数の観察対象の遮蔽下での状況を、観察者視点からの重量関係という視覚的手がかりを用い、遮蔽された箇所的空間的近傍および近傍時刻の観察結果に基づいて推定して生活支援タスクを学習する手法を提案し、手法が柔軟な観察対象あるいは操作対象同士の間・包含・突入関係を変化させる家事タスクの視覚学習と再現時の失敗復帰へ有用であることを示したものである.