

審査の結果の要旨

氏 名 長濱 虎太郎

本論文は、「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」と題し、生活環境において人が道具を用いて行う家事動作をロボットが観察し、その目的と観察対象の道具としての使い方を推定・記憶し、道具を利用する家事タスクをロボットが再現できる形で学習することをテーマとし、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とその有用性を示したものであり、全7章からなる。

第1章「序論」では、研究の背景として生活支援ロボットが人の手助けを行う際の各家庭固有の家事方法を指示する手法を比較検討し、視覚教示の有用性を指摘して本研究の目的と論文の構成を述べている。

第2章「作用・機能推定に基づく道具利用タスク学習」では、道具を用いたタスクの観察学習における問題点を整理し、道具が対象に働きかけている作用と機能を推定するうえで対象同士の遮蔽関係が重要であることを指摘し、空間遮蔽近傍情報と遮蔽時刻近傍情報を手掛かりとして推定する方法を論じている。調理タスクのように道具が薄いあるいは対象が柔軟性を有するような道具利用タスクの場合には、対象同士の上下・包含・突入関係の変化を推定することが重要であることから、観察対象や操作対象同士が互いに隠しあるいは隠される遮蔽関係に着目すれば対象同士の関係の推定が可能となる。遮蔽関係を用いれば人が推定する際と同様な観察者視点でも道具の作用と機能の推定が可能と考え、二次元相互遮蔽関係により三次元的な包含・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ている上下・包含関係を推定する方法を論じている。

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、日用道具を用いて生活支援をおこなうロボットへの要求機能を述べ、本研究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について述べている。遮蔽関係の認識には人と同等の視力が必要であるとの考えから広視野で高視力をもつ視覚システムを実現し、広い視野内を移動する人の行動を連続視差フィルタにより追跡し、両手先が高視力視覚の視野内に収まるように輻輳軸とズーム倍率を制御し、人が立って作業している際に人が扱う道具へ焦点をあてる視覚システムについて示している。また、料理のよそいつけなどの道具による間接的な物体操作が必要となる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ている。

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、対象が見えなくなる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、道具と操作対象の関係を推定する手法を論じている。粒子フィルタ法を用いて道具と操作対象を追跡し、次の時刻フレームにおいても遮蔽されていないと予測できる領域の尤度計算と、2つの領域が一緒に動く場合には運動の随伴性という情報として取得する処理を導入することで、テクスチャの少ない日用道具や見えなくなる道具への対応が可能であることを示している。その手法により、物を載せる・切り込むという上下・突入関係の変化を起こす人の操作の観察や、ロボットが料理のよそいつけを行う際の物を上に載せて動かす操作の認識が可能であることを示している。またファイルケースにファイルを挿入するファイリング操作では、

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るが、道具と操作対象の上下関係や包含関係の推定法での観測しにくい方向の動作パラメタを変化させることで、失敗操作を成功に導くことが可能であることを示している。

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、箱への片付け等の観察において、観察対象が完全な遮蔽下におかれるあるいは見失うような状況下でも、観察対象同士の関係を推定する手法を論じている。複数の観察対象を探索対象とし、偽陽性の低い視覚探索手法を用い、遮蔽関係や運動の随伴性情報を含む5つの視覚的手がかりを計算し、各時刻での関係を推定する。視覚的手がかりの計算にあたって、観察対象が認識できない状況ではその前後の時刻での手がかりを用いて補う手法を提案している。箱に物を仕舞う時だけでなく、袋のような形状の変化する物体を対象とした観察学習において、物体同士の上下・包含関係の変化を推定することで、袋へ載っているだけ、中へ入った、袋に隠されて動かされたことから、それがタスクの目的であると判断し、載せて良い、入れて良い、運んで良いという観察対象をそれぞれの動作のための道具として利用してよいという利用可能性情報を獲得する仕組みへ結びつけている。

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、視覚教示された家事タスクを再現する際に、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手順を変更する手法を論じている。STRIPSタイプの因果関係記述とタスクプランナを用い、タスク目的・利用可能性情報の推定結果により物体同士の上下・包含関係と道具利用を表す述語を、操作の前提条件となるよう定義して用いることで、人から教わった上下・包含関係変化と運搬方法のみを用いて、学習時に推定したタスク目的である対象の位置変化と上下・包含関係変化を達成できることを示している。双腕・単腕ロボットによる食器片付け実験、双腕ロボットによる洗濯ネットを用いた洗濯物の分類実験により、形状が変化する物体であっても、上下・包含関係を変化させるようなタスクを観察学習により獲得・再現できることを実証している。

第7章「結論」では本論文を総括し、その成果と貢献を述べている。

以上、これを要するに本論文は、生活支援ロボットが道具を利用する人の行動の観察からその行動タスクを学習するために、複数の観察対象の互いの遮蔽関係と随伴関係を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、タスク中の物体の上下・包含・突入関係を変化させる行為を視覚学習させる方法に関する研究をまとめたものである。その結果、調理道具による切る・載せる・運ぶなどの基本操作、箱や袋への収納操作、視野から見えなくなる操作などを含む家事タスクの観察学習を行い、観察記述と状態遷移プランナを利用し、道具利用行動の成否判定と失敗復帰を含むタスク行動を実現できることを実験とともに示しており、知能機械情報学へ貢献するところが少なくない。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。