

(論文内容の要旨)

本論文は、ロボットが物体操作経験を通じて、物体の動特性と行為を獲得する能動的知覚にする研究をまとめたものである。知能ロボットを「知覚と行為を知能的に結び付ける」ロボットと定義すると、知覚機能や知覚・行為間の結びつきを自律的に発達する機能の設計・実装が不可欠である。本論文では、アフォーダンス理論による知覚機能に重要な役割を果たすとされる不変項（構造不変項と変形不変項）に注目し、不変項の自己組織化による予測信頼性に基づくアフォーダンス知覚という課題に対するアプローチが述べられている。

第1章は序論で、アフォーダンス知覚について定義し、アフォーダンス理論による不変項について述べ、従来手法の知覚機構とロボットの行為との結びつけにおける問題点を明らかにし、3つの課題を指摘している。第1の課題は、物体表現に相当する構造不変項を自己組織化するモデルの開発であり、第2の課題は、ロボットの動作の微小変動に対する物体応答の変化という予測信頼性に基づく効果的な動作探索・生成手法の開発であり、第3の課題は、動作表現に相当する変形不変項を自己組織化するモデルの開発である。

第2章では、ロボットの能動知覚について文献調査、特に、能動知覚によるロボット・環境モデルの構築を通じた動作生成適応についての従来研究を概観し、そこで得られた知見を基に、前章で述べた3つの課題に対する取り組みが妥当であることを述べている。

第3章では、第1と第3の課題に対して、2つの特徴量抽出器をダイナミクス学習モデルに連結し、物体特徴量として構造不変項を自己組織化する手法を提案し、その手法の概略を説明するとともに、モデル全体について述べている。

第4章では、第1の課題に対して、構造不変項の自己組織化モデルを提案し、その手法について述べている。構造不変項は物体そのものを表現する物体特徴量、例えば、物体形状であり、物体予測モデルを構築するには、これらの特徴量を物体動作と関連付けることが必要となる。構造不変項と物体動作との関連付けは、特徴量抽出器をダイナミクス学習モデルに連結することによって、連合学習を行っている。得られた学習モデルの解析を通じて、物体挙動に影響を与える物体形状に関する特徴量が学習時に自己組織化できることを確認している。

第5章では、第2の課題である予測信頼性に基づく効果的な動作探索・生成手法として、予測信頼性の定義に基づいた評価関数を設定し、評価関数を極小化する動作を最急降下法によって探索する手法について述べている。多種多様な物体を用いた実験により、提案手法の有効性を確認している。例えば、円筒物体に対しては、転がる動作が他の動作（予測不可能な回転動作を含む）に比べて、予測可能な動作であり、実際、提案手法により生成可能な動作が一貫した転がす動作に絞り込むことができることが示されている。

第6章では、第3の課題に対して、変形不変項の自己組織化モデルを提案し、その手法について述べている。変形不変項は物体の動作を表現する物体特徴量系列、例えば、重心位置の遷移であり、物体のダイナミクスを自己組織化することが必要となる。この問題に対して、ダイナミクス学習モデルを特徴量抽出器に連結し、双方向学習によって同時に不変項とダイナミクスについての各々のモデルを学習する手法を提案している。評価実験を通じて、双方向学習によって得られた2つのモデルが、自己組織化された変形不変項に基づいて、物体のダイナミクスを自己組織化していることを確認している。

第7章では、第4章から第6章までの手法を統合したモデルについて述べている。一般物体に対する予測信頼性に基づく動作探索を行い、物体のアフォーダンス知覚の可能性について考察を行っている。

第8章では本研究のまとめを行い、能動知覚に基づく動作生成に関する関連研究に対する、本研究の主要な貢献について述べるとともに、残された課題や今後の方向性についても考察を行っている。

第9章は、結論である。

氏 名

西 出 俊

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ロボットが物体操作経験を通じて、物体の動特性と行為を獲得する能動的知覚に関する研究をまとめたものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. 知覚機構とロボットとの行為との結びつけを自己組織化するという観点から、アフォーダンス理論による知覚機能に重要な役割を果たすとされる不変項（構造不変項と変形不変項）に注目し、不変項の自己組織化による予測信頼性に基づくアフォーダンス知覚という斬新なアプローチを提案した。
2. 物体画像とロボット動作を物体挙動と連結させるために階層型ニューラルネットワークを構築し、その出力をパラメトリックバイアス付リカレント型ニューラルネットワークRNNPBに入力させることで、物体表現に相当する構造不変項を自己組織化するモデルを2つのニューラルネットワークの連合学習で構築し、種々の物体の押された位置によって、倒れる、転がる、滑るなどの挙動が連想可能であることを示した。
3. 物体挙動予測モデルをRNNPBで構築し、形成されたPB空間に対して、最急降下法で一貫した物体挙動を探索し、階層型ニューラルネットワークで構築された物体挙動と連合させることにより、未学習の物体に対して置かれた位置に関係なく一貫した動作生成が可能なこと、すなわち、予測信頼性に基づく動作生成が可能なことを示した。
4. 物体の動作を表現する物体特徴量系列を表す変型不変項を、ダイナミクス学習モデルを特徴量抽出器に連結した双方向学習によって、変形不変項とダイナミクスの同時学習法を提案し、4つの挙動がPB空間上で自己組織化できることを示した。
5. 変形不変項の自己組織化と予測信頼性に基づく動作探索を行うことにより、一般物体の動作探索が行えることを具体例で示した。

以上本論文は、ロボットの挙動の知能化に、アフォーダンス知覚という新しいアプローチを提案し、具体的な処理システムを構築して、その有効性を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成21年2月5日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。