

## 論文内容の要旨

博士論文題目

視覚を有するエージェントのための触覚に基づく内部表現獲得手法に関する研究

氏名

寺田和憲

本研究の目的は、環境の変化に柔軟に対応する自律エージェントの構築である。自律エージェント構築のためには、エージェントの持つ内部表現は設計者によって事前に与えられるのではなく、環境との相互作用を通じて自動的に獲得される必要がある。内部表現、特に視覚入力から行動出力へのマッピングの自動的獲得においては1)どのようにして状態空間を自動的に構築するか、2)エージェントの身体性に基づいた内部表現をどのように獲得するか、が問題となる。本論文では、これらの問題を解決するために、環境との物理的相互作用を直接知覚可能な唯一のセンサである接触センサに基づく内部表現獲得手法に関して以下の3つの研究を行った。

まず、エージェントの内部表現を記述するための基本となる状態空間を自動的に分割する手法について研究した。この研究では、自己組織化マップアルゴリズムに基づき、視覚入力パターンをその類似性に基づいてオフライン競合学習を行い、状態空間を自動的に分割した。この手法により、状態空間を構成する入力次元を削減でき、より少ない状態数で行動学習できるようになった。

しかしながら、この研究では状態空間は入力ベクトルの類似性のみに基づいて構築されたため、より複雑なタスクを行うためにはタスクに応じて状態空間を構築する必要がある。そこで、2番目の研究として行動経験に基づいて状態空間を獲得する方法について研究を行い、接触信号に基づいてタスク遂行のために必要な視覚的特徴軸の抽出と特徴軸を分割する手法を提案した。実世界における行動はほとんどの場合接触を伴うので、エージェントのタスクは接触信号によって意味付けられると考えられる。本手法では、この考えに従って、行為の終端で知覚される接触信号を行為系列に対して割り引いて与え、その割り引き信号を統計的に解析することで、タスク遂行のために必要な視覚的特徴軸の抽出と特徴軸の分割を行った。実験の結果あらかじめ準備した複数の特徴軸の中から目標到達行動のために必要な特徴軸が選択された。また、細かく分割されていた状態を統合し、状態数を削減することができた。得られた状態空間を用いて強化学習を行ったところ、エージェントは対象に到達する行動を達成することができた。

3番目の研究として効用関数を用いた対象認識と行動生成の研究を行い、エージェントの身体性を考慮した対象の内部表現の獲得手法を提案した。2番目の研究においてタスク遂行という条件に基づいて状態空間の生成を行えることを示したが、この状態空間はエージェントのもつ物理的特徴・能力を暗に組み込んだものである。そこで、エージェントのもつ物理的特徴・能力を明示的にとりこむために、視覚入力に対して接触信号に基づいて効用関数を生成することで、エージェントの身体性を考慮した対象の内部表現の獲得方法を提案した。この手法では、視覚入力中に見える対象は効用関数によって表現される。効用関数は身体表面と対象表面の相対関係をその間で予測される行動によって表現するものである。実験の結果、エージェントは視覚入力から効用関数を生成し、仮想的ななぞり行動によって6種類の対象の識別を行うことができた。また、通り抜けられるすきまと通り抜けられないすきまを判別し適切な行動を行うことができた。

これらの研究を通じて、接触センサを内部表現構築のための手がかりとして用いると、従来設計者が埋め込んでいた知識を可能な限り排除した自律的なエージェントが構築可能であることがわかった。

## (論文審査結果の要旨)

本論文では、視覚を有するエージェントの内部表現構築に関する問題について述べている。自律エージェント構築のためには、エージェントの持つ内部表現は設計者によって事前に与えられるのではなく、環境との相互作用を通じて自動的に獲得される必要がある。内部表現、特に視覚入力から行動出力へのマッピングの自動的獲得においては1)どのようにして状態空間を自動的に構築するか、2)エージェントの身体性に基づいた内部表現をどのように獲得するか、が問題となる。本論文では、これらの問題を解決するために、環境との物理的相互作用を直接知覚可能な唯一のセンサである接触センサに基づく内部表現獲得手法の開発を行った。本論文の成果は以下の3点に要約される。

1. エージェントの内部表現を記述するための基本となる状態空間を自動的に分割する手法について研究を行い、状態空間を構成する入力次元を削減でき、より少ない状態数で行動学習できるようになった。
2. 行動経験に基づいて状態空間を獲得する方法について研究を行い、接触信号に基づいてタスク遂行のために必要な視覚的特徴軸の抽出と特徴軸を分割する手法を提案した。実験の結果あらかじめ準備した複数の特徴軸の中から目標到達行動のために必要な特徴軸が選択された。また、細かく分割されていた状態を統合し、状態数を削減することができた。得られた状態空間を用いて強化学習を行ったところ、エージェントは対象に到達する行動を達成することができた。
3. エージェントの身体性を考慮した対象の内部表現の獲得手法を提案した。2番目の研究においてタスク遂行という条件に基づいて状態空間の生成を行えることを示したが、この状態空間はエージェントのもつ物理的特徴・能力を暗に組み込んだものである。そこで、エージェントのもつ物理的特徴・能力を明示的にとりこむために、視覚入力に対して接触信号に基づいて効用関数を生成することで、エージェントの身体性を考慮した対象の内部表現の獲得方法を提案した。実験の結果、エージェントは視覚入力から効用関数を生成し、仮想的ななぞり行動によって6種類の対象の識別を行うことができた。また、通り抜けられるすきまと通り抜けられないすきまを判別し適切な行動を行うことができた。

以上に述べたように、本論文では身体性、汎用性を考慮した内部表現獲得手法を提案し、その有効性を実験的に検証している。本研究は、知的エージェントの構築において身体性の重要性を工学的に証明した先駆的な研究として評価でき、人工知能、ロボティクス分野において、学術、実用の両面での貢献を認めることができる。なお、本論文の主要部分に相当する内容は、学会論文誌2件、査読付国際会議2件として公表されている。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。