

博士論文の内容の要旨

氏名	MO, YAQIANG
学位名	博士（工学）
学位授与年月日	2022年3月20日
論文題目	手順あり作業における一連の動作獲得のための方策学習に関する研究

(博士論文の内容の要旨)

近年、工場や家庭における自動機械の普及により、元々人間が行う作業を機械により自動化させる需要が増えている。これらの作業について、単一の動作で済む作業であれば、自動化の見通しは立てやすい。しかし、作業の目標を達成するために、複数回の動作を適切な順番で実行する必要がある場合、問題は複雑となる。

作業の自動化需要において、比較的に実現困難な作業として、複数回の動作を適切な順番で行う作業（以下、手順あり作業）がある。このような作業において、各動作の適切さのみを考えるのではなく、各動作を接続する順番、および、動作はいつ切り替えるべきか、すなわち、各動作の切り替え則も考慮する必要がある。開発者はこれらの要素をすべて考慮し、自動化方法を設計する必要がある。このことは開発者にとって非常に大きな負担となる。一方、ロボットの動作生成手法において、人間の動作から必要な情報を抽出し、ロボット自身の動きとして再現する Teaching by Showing といった枠組みがある。このような枠組みを利用することにより、人間により行った成功した作業を教示作業と称し、教示作業から手順あり作業にとって適切な動作と動作の切り替え則を抽出することで、開発者が作業のプロセスを設計する手間を省くことができ、開発者の負担を大きく軽減することができる。また、人間による教示作業から人間の経験を参考することにより、ロボットが無知識の状態から作業を遂行する動作を探索することがなく、作業の実行能力を獲得するまでに必要な時間を大きく削減する効果も想定できる。

本研究の目的は、手順あり作業を対象とし、作業の最終目標を達成するための実行能力をロボットに自動で獲得させることである。この目的を実現させるために、本研究ではロボットによる人間の教示者の作業観察に基づき、ロボットの作業能力を獲得する Teaching by Showing のアプローチと、ロボットが自身の関節構造に合わせた動作を再構成するアプローチを採る。ロボットの動作を再構成する際に、本研究では強化学習の手法を利用する。強化学習とは、試行錯誤を繰り返すことにより、目標を達成する方法を探索する手法である。強化学習における意思決定野数理モデルを方策モデルと称し、手順あり作業に対応するために、本研究ではスパースガウス過程を用いた方策モデルと隠れセミマルコフモデルを結合し、新たな方策モデルを構築した。提案した方策はサブ方策となる単純な方策を切り替えることにより、複雑な手順あり作業を実行する能力を獲得できる。ここで、人間による教示動作を用いて方策モデルを初期化する方法の課題と、試行錯誤により方策を改善する方法の課題が現れる。

人間による教示作業を利用するために、まず、獲得した教示作業の連続的な動作を分割し、分割後の動作間の類似度により動作を分類する必要がある。そこで、本研究では教示動作における動作の方向が変化する時点に注目し、このような時点を検出する方法を提案した。また、動作方向の変化検出に基づき、教示動作を分割する方法を提案した。分割後の教示動作を訓練データとして方策モデルを学習させることにより、方策に教示動作から教示者の経験を吸収させることが可能となる。

また、ロボットによる作業の試行錯誤を行う際に、作業結果の評価値により方策を改善させていくことが望ましい。本研究では、作業結果に対する評価値を重みとし、従来の学習方法に評価値の重みをかける手法を用いることで、提案の方策モデルを学習に伴い改善する手法を提案した。方策を改善することで、ロボットが作業を行う際の挙動をより高い評価を獲得できるに変更できる。また、スパースガウス過程の学習と隠れセミマルコフモデルの学習は同時に進行させることができ、より効率的に作業を遂行する能力が獲得できると考えられる。

最後に、本研究は「提案した方策モデル」、および、「方策モデルの学習方法」の有効性を検証するために、シミュレーション環境におけるリーチングタスク、複数個の食器の片付け作業、および、布の三つ折り作業を設定し、検証実験を行った。また、布の三つ折り実験に対し、単一

のスパースガウス過程を用いた方策モデルによる学習の効果を確認し、提案した方策モデルの学習効果と比較した。実験結果により、提案した方策を学習させることで、リーチングタスクの目標を達成できる能力、ロボットを複数個の食器の片付けする能力、および、布を三つ折りする能力を獲得させた。また、従来手法と比較することで、提案した方策モデルは優位であることを実証した。

以上により、本研究では手順あり作業に対応するための方策モデルを提案した。また、試行錯誤により方策を改善することで手順あり作業を遂行する能力の獲得に関する研究に貢献できたと考える。