

参照点と操作対象に依存した GP-HSMM によるロボットの動作学習

岩田 健輔 青木 達哉 中村 友昭 長井 隆行
電気通信大学 情報理工学研究科

1 はじめに

近年サービスロボットの開発が活発化しており、実環境へ導入するための試みも徐々に行われている。サービスロボットは既に、自身が行う行動をあらかじめ定義しておくことで、単純な環境の中においては自律的に活動することも可能である。しかし、一般家庭のような複雑かつ、制御することができない環境では、必要な行動を人手で全て定義することは非常に難しい。そのため、完全に自律で家庭内タスクを行うロボットは実現されていない。その為、自律的に活動することは未だ実現できていない。自律的な活動を行うためには、その環境の中で活動し、その身体の動きの中で定義される行動を自身で学習できる必要がある。これらの必要な行動は人手で定義することは困難だが、その中には共通した身体の動きが存在し、この共通した動作を基本動作とする。そして、環境に応じて変化する行動を基本動作の組み合わせとして学習することで実現することを目指す。初期の段階でロボットは、自律的に活動することができない。そこで、人がロボットを遠隔操作することで家庭内タスクを実行し、その際に収集される時系列データを分節化することで基本動作を学習する収集した情報を分節化することで、基本となる動作を学習する。本稿では、参照点に依存したガウス過程の基づく隠れセミマルコフモデル (GP-HSMM)[1] を基盤とし、操作対象ごとに適切な座標系で対応する動作を学習する手法を提案する。その手法を用いて、扉の開閉等を含む、家庭内における複雑な片付けタスクを通して、それぞれの操作対象ごとに適切な動作を学習できることを示す。

2 提案手法

GP-HSMM は連続な情報を分節し、その類似性に基づき分類する手法である。文献 [2] では、自身を基準とした手先の軌道を分節することで、空手の型に含まれる基本動作の学習を行った。しかし、日常における動作の中には、操作対象を基準とする座標系が重要となる動作も存在する。

2.1 参照点

物を掴む、取るという動作は、自身を基準とした場合、対象となる物体の位置により動作軌道が変化する。この動作においては、物体へアプローチするという軌道が重要となる。従って、物体から手先へと軸を向けた座標系を設定することで、同一カテゴリーの動作軌道として学習することができる。このような、動作軌道の特徴をより表現できる座標系を参照点という [3]。

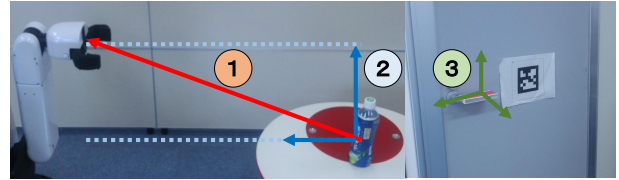


図 1 参照点の種類 1. 距離を強調した座標系, 2. 高さを強調した座標系, 3. 設備などの固有の座標系

参照点となる座標系は、日常生活における動作 [4] を参考に設定する。設定した座標系を図 1 に示す。物をつかむ、物を近づけるといった動作は、その物体との距離関係が重要となる。そこで、図 1-1 に示すような、物体から手先へと軸を向けるように座標系を設定する。物体の設置や、ボタンを押す、箱に手を入れるといった動作は、その物体との距離と高さが重要である。従って、図 1-2 に示すような、高さを表す軸のみを回転させた座標系を設定する。扉の開閉等、設備の操作は、その物体ごとに繊細な軌道が要求される。その為、図 1-3 に示すような、物体ごとに固定された座標系を設定することで、その動作軌道が表現できると考える。この 3 種類の参照点により、家庭内における動作軌道を表現できる。

2.2 操作対象による分類

物体へのアプローチや平面への設置といった動作は、動作軌道の変化も大きく、分類も容易である。しかし、動作によっては、動作軌道の変化が小さく、分類が難しいものも存在する。特に、設備の操作に関する動作は、動作の軌道の変化は小さいが、繊細な軌道を要求される動作も存在する。例えば、ドアノブを捻るという動作は、動作軌道で考えた場合、その変化は非常に小さい。しかしながら、ドアノブを正確に捻ることができなければ、扉を開くことができない。GP-HSMM では、類似した軌道は同一の動作として分類されてしまうため、動作軌道の変化が小さい場合、その特徴を残した基本動作の学習を行うことが難しい。このような動作軌道は他の物体に出現することはなく、物体や設備に固有の動作である。そこで、動作軌道の学習を行うために、操作対象に基づく分節分類を行い、基本動作を学習する。これにより、動作軌道の変化の小さい動作も、その操作対象にのみ出現する固有の動作として学習することができる。

2.3 参照点と操作対象に依存した GP-HSMM

従来の GP-HSMM では、タスク全体の身体情報から動作の学習を行っていた。提案手法では、タスクを操作対象の検出結果に基づき分割する。そして、対象ごとに、GP-HSMM を用いて基本動作を学習する。分節された身体情報は、ガウス過程により、類似した軌道ごとに分類される。この学習されたガウス過程が、基本動作の軌道を表現する。分節化された軌道は参照点となる物体を有しており、分類により決定される参照点に応じて座標変換される。参照点は図 1 に示した 3 種類の中から選択

Learning of primitive actions by robots using GP-HSMM depending on reference-point and target objects
Kensuke.Iwata, Tatsuya.Aoki, Tomoaki.Nakamura, Takayuki.Nagai
The University of Electro-Communications

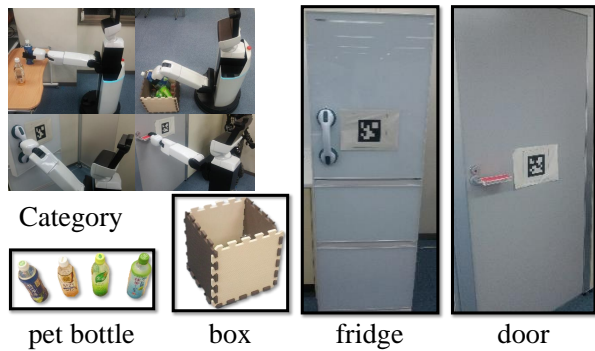


図2 片付けタスクにおける行動・操作対象

される。このように操作対象を基準とし、参照点座標系による動作軌道を学習することで、活動時のロボットの身体情報から基本動作の学習が可能となる。

3 実験

提案するモデルによる動作学習が可能であることを示すため、複雑な行動を内包する片付けタスクを行い、その身体情報より動作の学習を行った。分節分類を行う連続情報には手先の開閉状態を含む8次元の情報と、物体情報として物体位置姿勢及びカテゴリの情報を用いる。片付けタスクは、図2に示すように、物体の把持や箱への収納、その他に冷蔵庫や扉の開閉といった複雑な行動をタスク中に含む。取り扱った操作対象は図2に示す4つのカテゴリである。学習の為のタスクは、ロボットのカメラを通した遠隔操作により人が実行した。

4 結果

学習された結果の一部として、ドアを操作対象として学習した結果を図3,4に示す。図3左に、実際に学習に用いられた、操作対象の検出区間と、分節の結果を示す。左の軌道はタスク全体における手先の軌道を示しており、黄色い区間が操作対象が検出されていた区間である。この区間を対象として、分節分類を行った結果が右に示すグラフである。図4に示すグラフは、ドアを操作対象とした学習において、基本動作として獲得されたガウス過程の軌道である。青線が平均を表し、赤背景の部分が分散を表す。ここでは、手先の姿勢とハンドの開閉状態(0:Close,1:Open)を示す。図3の各色は図4に示すガウス過程のクラスの色と対応しており、ドアを開ける行動が、各動作ごとに分節分類されている。

学習された基本動作は、学習された遷移確率に従い実行することで、ドアを開ける行動として再現可能である。図5は、それらの動作を実行した結果である。提案手法を用いることで、ドアノブを掴み、捻るという細かい動きも学習されていることを確認することができた。

5 まとめ

参照点と操作対象に依存したGP-HSMMを用いて、複雑な行動を内包する片付けタスクより、それぞれの操作対象を基準とした動作の学習が行えることを示した。基本動作は、学習された遷移確率と学習されたガウス過程を用いることで再生することができ、その動作の組み合わせにより、実際に出現した行動を実行することが可

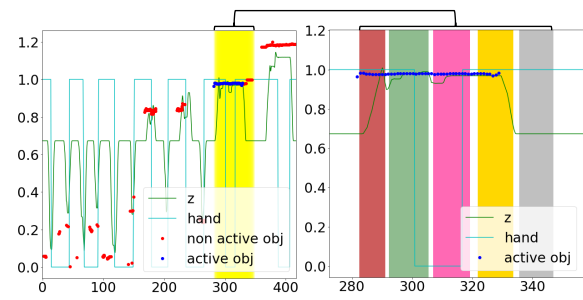


図3 ドアを操作対象とした分節結果

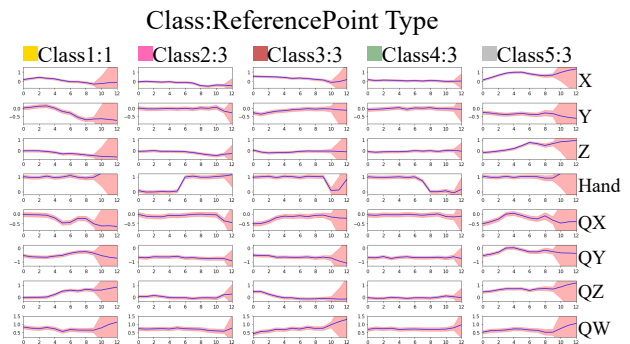


図4 学習された基本動作の軌道

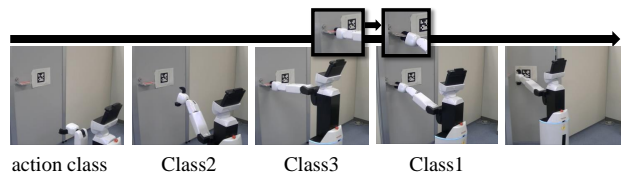


図5 学習した基本動作の組み合わせによるドアを開ける行動

能である。今後の課題として、各行動間の遷移を用い、目標となる状態を定義することで、行動を組み合わせ、自律的に家庭内タスクを実行することが挙げられる。

謝辞

本研究は、JST CREST(JPMJCR15E3)の支援を受け実施したものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 岩田健輔, 他, “参照点に依存したガウス過程隠れセミマルコフモデルに基づく連続動作の分節化” 日本ロボット学会学術講演会, 2016
- [2] T.Nakamura, *et.al.* “Segmenting Continuous Motions with Hidden Semi-Markov Models and Gaussian Processes”, *Frontiers in Neurorobotics* 11, 2017
- [3] K.Sugiura, *et.al.* “Learning, generation and recognition of motions by reference-point-dependent probabilistic models”, *Advanced Robotics*, 2011
- [4] 一般社団法人 人間生活工学研究センター (最終閲覧日 2017年1月12日) <https://www.hql.jp/database/cat/senior/funcdb>