

東京工業大学工学部

学士論文

一つ以上の参照点を考慮した  
物体移動動作の学習と再現に関する研究

指導教員 長谷川 修 准教授

平成28年2月

提出者

学科 情報工学科

学籍番号 12\_06181

氏名 菰田 徹也

指導教員認定印		
学科長認定印		

## 一つ以上の参照点を考慮した 物体移動動作の学習と再現に関する研究

指導教員 長谷川 修 准教授

情報工学科

12\_06181 菰田 徹也

人間の生活環境で活動する汎用ロボットの実現には、人間とのインタラクションを通じて動作を学習する能力が必要であり、それに関連する研究として模倣学習が存在する。しかし、模倣学習の研究で扱われているものの多くは、教示動作の目標位置即ちその動作の満たすべき最終状態について教示者とロボット間で既知で共有されている。本研究では、環境中の一つ以上の参照点に応じて目標位置が決定されるような物体移動動作を教示し、その動作がどの参照点に対してどのように決定されるかを表す観点を推定し、再現する手法を提案する。

初めに、環境中の参照点に対応した観点それぞれに確率モデルを生成する。学習時には教示された物体移動動作を各参照点を原点とした相対位置に変換し、観点に応じた線形変換を行ったうえで各確率モデルを更新する。

再現時には学習された確率モデルのうち、最もばらつきの小さい観点を教示者が意図していた観点だと推定してベクトルを生成し、観点に応じた逆線形変換を行ったうえで参照点の座標を加えて動作の目標位置を推定する。

また学習した確率モデルからの生起確率を用いることで、例示動作が既学習動作のいずれであるかを識別することも可能になる。

提案手法を用いて学習させた動作を学習時と異なる初期環境で再現、識別させる実験を行うことで、複数の参照点間の相対位置を考慮した動作を学習できていることを示した。

今後の課題としては、複数の段階を持つより高度な動作の学習手法や、目標位置や被動作物体の決定時に位置情報以外の特徴量を考慮できるより一般的な学習手法の考察が挙げられる。

# 目 次

第1章	序論	1
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	関連研究について . . . . .	2
1.3	本論文の構成 . . . . .	3
第2章	準備	4
2.1	準備-1 . . . . .	4
2.2	準備-2 . . . . .	4
第3章	主な結果	5
3.1	結果-1 . . . . .	5
3.2	結果-2 . . . . .	5
第4章	数値例と考察	6
4.1	数値例 . . . . .	6
4.2	考察 . . . . .	6
第5章	結論	7
	謝辞	8
	参考文献	8
付録 A	定理1の証明	10
付録 B	定理2の証明	11

# 第1章

## 序論

### 1.1 背景

近年のロボット技術の発展により、人間の生活環境で活躍する汎用ロボットの実現に向けた様々な研究が行われている。汎用ロボットとは、工場などで作業を行うようなあらかじめプログラムされた動作を繰り返すものではなく、環境との相互作用によって適切な行動を学習、選択して実行できる能力を持ったロボットのことである。人間の生活環境で活躍する汎用ロボットには、人間とのインタラクションを通じて動作の方法や内容を学習する能力が必要不可欠である。人間とのインタラクションを通じて学習を行う手法の研究として、人間の教示動作を観測しそれを模倣することによって、ロボットがその動作を再現するにはどのようにすればいいかを学習する模倣学習があるが、人間の動作を模倣するだけではその動作を理解したとは言えない。例えばロボットに、コップを運ぶという動作を教示して再現させることを考える。ある時点で食器棚に置かれているコップを、その時点でテーブルの一角に座る人の前に動かす動作を見せた場合、単純に教示動作からコップの最終位置を把握したとしても、それはそのテーブルの一角という場所に動かすことが重要なのか、その座っている人の前に動かすことが重要なのかを理解できていなければ、人の座る位置やテーブルの位置などの環境が変わった場合に教示者の意図に正しく沿った動作が再現できない。このような問題を解決するためには、特定の初期状態から人間がどのように動作したかという明示的な情報から、人間がその動作を行う際に環境中のどの情報を意識しているかという暗黙的な情報を推測し、動作における観点を人間とロボット間で共有する必要がある。このような背景から、本研究では教示者の動作から動作意図を把握し、意図を汲み取った動作を再現できるようなロボットの実現に向けた研究として、一つ以上の参照点との相対位置に応じて目標位置が決定する物体移動動作の教示から、教示者の着目している参照点とそれに対する位置決定の方法を推定する手法を提案する。

## 1.2 関連研究について

人間とロボットのインタラクションの分野において、人間の教示動作によるロボットの模倣学習に関する様々な研究が行われている。([6]-[9]) 模倣学習とはロボットに対し、タスクや動作をあらかじめプログラムするのではなく、ロボットの腕を直接操作したり、人間の動作を視覚的に与えるなどで動作を教示し、その挙動を模倣することでタスクや動作を学習する手法を研究する分野である。その際に教示者とロボット間のキネマティクスなどの制約の違いを克服する機構を持たせることで、ロボットへの動作教示をより自然、適切に行う手法に関する研究が行われている。中岡 [3] は、教示した人の舞踊動作から四肢の長さや関節角などを考慮した見真似学習を行い、同時に安定した姿勢を保ち直立を維持した状態でロボットに舞踊動作を模倣させる研究を行った。このようにロボットに対し、教示動作と類似した動作を再現させる手法としての模倣学習は成功している。一方、特定のタスクを達成させることを目的とした模倣学習も数多く研究されている。Schaal[5] は、バネマスダンパで構成される運動モデルのパラメータを教示動作から学習することで、ドラムをたたくなどの周期運動や、ラケットでボールを打つなどの到達運動の再現を行っている。このように、目標位置が既知で教示者とロボットの間で共通に認識されているという前提で、その目標位置までどのように動作するかを扱う研究は多く存在するが、動作教示の煩わしさを軽減し、人とロボットのインタラクションを円滑にするためには、動作の目標位置などの教示者の内包する意図は明示的に与えるより、教示動作からロボットが推測し、教示者は教示動作を見せるだけでよくなることが望ましい。そのため、目標位置はロボット自身が教示動作から推定する機構を持たなければならないが、目標位置の決定方法は動作によって異なる。例えば物体移動動作において、ある物体を右に動かすという動作はその物体の位置が最終位置の決定にかかわるが、一方の物体を他方の物体に近づけるという動作は2つの物体間の位置関係が最終位置の決定に必要なになる。これには、目標位置決定の基準となる参照点と、その参照点に対してどのような位置、状態かを表す変位の2つを推定する必要がある。杉浦ら [1] は動詞の持つ動作概念を人とロボット間で共有することを目標にした研究を行った。その中で物体移動動作の教示に関して、各オブジェクトの位置を参照点とし、複数の座標系に変換した動作軌跡を生成する隠れマルコフモデルを学習して最尤推定によって参照点と変位を決定し、参照点を考慮した動作概念の獲得を行った。また Dong ら [2] は、動作と参照点の関係である変位を、参照点に到達する、参照点から出発する、位置遷移量が等しい、などの特徴的な数パターンに大別し、動作軌跡を生成している。これらの研究はいずれも、動作の概念として参照点に対する動作軌跡を獲得することを目標としており、参照点の決定方法及び選択肢に関しては簡単な議論にとどまっている。そのため、これらの手法では動作の目標位置の学習に十分とは言えず、表現できない動作が存在する。例え

ば、椅子を等間隔に並べる、という動作を考えた時、椅子1つ1つを参照点として考えても、椅子の位置関係が2つ以上の椅子の位置で決定し、かつ毎回変化するものであるため適切に学習することができない。このような動作を適切に学習するためには、2つ以上の物体の位置を考慮した参照点の決定方法が備わっていなければならない。本研究では、これら関連研究で用いられる手法を参考にしつつ、特に複数の物体を参照点として考慮する必要がある動作の学習を目標として、より多種の動作意図を取得する方法を提案する。

### 1.3 本論文の構成

## 第2章

# 準備

## 2.1 準備-1

[illegible]

## 2.2 準備-2

[illegible]

## 第3章

## 主な結果

### 3.1 結果-1

[illegible]

### 3.2 結果-2

[illegible]



## 第4章

## 数値例と考察

## 4.1 数值例

数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值  
例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值  
例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数  
值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．数值例．

## 4.2 考察

考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考  
察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考  
察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考  
察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，考察，

## 第5章

### 結論

結論はかくかくしかじか．結論はかくかくしかじか．結論はかくかくしかじか．結論はかくかくしかじか．結論はかくかくしかじか．結論はかくかくしかじか．

残された課題はかくかくしかじか．残された課題はかくかくしかじか．残された課題はかくかくしかじか．残された課題はかくかくしかじか．

# 謝辞

皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．  
皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．皆さんに感謝．  
皆さんに感謝．皆さんに感謝．

## 参考文献

- [1] 杉浦孔明, et al. "Learning, generation and recognition of motions by reference-point-dependent probabilistic models." *Advanced Robotics* 25.6-7 (2011): 825-848.
- [2] Dong, Shuonan, and Brian Williams. "Learning and recognition of hybrid manipulation motions in variable environments using probabilistic flow tubes." *International Journal of Social Robotics* 4.4 (2012): 357-368.
- [3] 中岡慎一郎, et al. "シンボリックな動作記述を用いた舞踊動作模倣ロボットの実現." *電子情報通信学会技術研究報告. PRMU パターン認識・メディア理解* 103.390 (2003): 55-60.
- [4] Koenemann, Jonas, Felix Burget, and Maren Bennewitz. "Real-time imitation of human whole-body motions by humanoids." *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE, 2014.
- [5] Schaal, Stefan. "Dynamic movement primitives-a framework for motor control in humans and humanoid robotics." *Adaptive Motion of Animals and Machines*. Springer Tokyo, 2006. 261-280.
- [6] Argall, Brenna D., et al. "A survey of robot learning from demonstration." *Robotics and autonomous systems* 57.5 (2009): 469-483.
- [7] 臼井和廉, 波多野拓貴, and 高橋泰岳. "人間による呈示動作のバイアスを用いた人型ロボットの模倣学習." *ファジィシステムシンポジウム講演論文集* 29 (2013): 836-841.
- [8] Eppner, Clemens, et al. "Imitation learning with generalized task descriptions." *Robotics and Automation, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on*. IEEE, 2009.
- [9] Khansari-Zadeh, S. Mohammad, and Aude Billard. "Learning stable nonlinear dynamical systems with gaussian mixture models." *Robotics, IEEE Transactions on* 27.5 (2011): 943-957.

## 付録 A

### 定理1の証明

## 付録 B

### 定理2の証明