HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Imitation Learning Framework using Principal Component Analysis for Humanoid Robot Motion Generation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	朴, 江
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11770号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58947
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Park_Garam_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　朴　江

審査担当者　主　査　教　授　近野 敦
副　査　教　授　小笠原 悟司
副　査　教　授　五十嵐 一

学位論文題名

Imitation Learning Framework using Principal Component Analysis for Humanoid Robot Motion Generation
（ヒューマノイドロボット動作生成のための主成分分析を用いた模倣学習フレームワーク）

従来のロボット動作教示は, 作業者がティーチングペンダントやマスタアーム, グラフィカルユーザインタフェース (GUI) などを用いて, ロボットの手先位置・姿勢の経由点を指定し, それらを滑らかな軌道で補間して参照軌道とする手法が一般的であった。

しかしヒューマノイドロボットのように超多自由度のロボットの場合, ティーチングペンダントやマスタアームなどで全身の動作教示を行うのは非現実的である。そのためヒューマノイドロボットへの動作教示法として, 人間が動作を実演し, その実演データからロボットの動作を生成する, 実演による教示 (teaching by demonstration) あるいは模倣学習 (imitation learning) と呼ばれる手法が注目されている。

人間の実演データを動作ライブラリとして記録する場合, 実演データを ‘リーチング’,‘把持’,‘歩行’ など, 一旦シンボル化して記録する方法と, 実演データの動作軌道として記録する方法に大別できる。シンボルとして記録する方法は, 動作ライブラリのサイズを大幅に小さくできる反面, 人間の実演データに含まれる「匠の技」のような重要な情報が欠落する。動作軌道として記録する方法は, 実演軌道に含まれる重要な情報を保存できるが, 動作の数が増えるにしたがい, 動作ライブラリのサイズが膨大なものとなる。

本論文は, 以上の問題を解決するために, 人間の実演データを軌道として記録することにより人間の動作に含まれる重要な情報を保存しつつ, 軌道のすべてをデータ化するのではなく主成分 (principal component) のみを記録し, ロボットの動作を生成する必要が生じた際に, 記録した実演データの主成分, 現在のロボットの位置と姿勢, 目標とする位置と姿勢から, 実時間でロボットの動作を生成する枠組みを提案するもので, 全編 5 章からなる。

第 1 章は序論であり, 本研究の背景, および目的を述べている。

第 2 章では, 人間の実演データの主成分を記録した動作ライブラリから, 実時間でロボットの動作を生成する手法を提案している。このような動作生成法として,WLS (weighted least-square),GMR (Gaussian mixture regression),GMM (Gaussian mixture model) といった手法が提案されているが, これらの手法は人間の実演データを忠実に再現しようとするために, 初期値や目標の位置姿勢が実演データと大きく異なる動作を生成する場合や, 実演データの軌道を伸縮変形させたような動作を生成したい場合には, 適切な動作を生成できない。これに対して, 提案する実演データの主成分を用いた動作生成法では, 実演データの特徴となる成分を再現しつつ, 実演データとは異なる初期値,

目標値に対する動作や伸縮変形させたような動作に対しても適切な動作を再現できることを,WLS, GMR, GMM などと比較したシミュレーション結果で明らかにした。作業に適切な動作を実演データから実時間生成することが可能となり, 実用上極めて有益な成果である。

第 3 章では, 人間の実演データの主成分分析 (principal component analysis) を用いて動作素片 (motion primitive) としてライブラリ化する手法を提案している。まず人間とヒューマノイドロボットの手足などの寸法差を考慮し, 人間の実演データを, ヒューマノイドロボットと同じ寸法を持つ人間のスケールモデル用に変換する。その後, 人間とヒューマノイドロボットの自由度の差異を考慮するために, スケール人間モデル用に変換した実演データを, ヒューマノイドロボットモデル用に, 手足先の位置・姿勢の 2 乗誤差が最少となるように変換する。人間の実演データは, ある特定の範囲で複数回行われたものとする。本章では, このように特定の範囲で行われた実演データをもとに, 作業領域すべての動作を生成する枠組みを提案している。まず, 作業領域を格子状に分割する。ある特定の範囲で行われた複数の実演データをヒューマノイドロボットモデルに変換した動作の主成分を親データ (parents) とする。これらの親データをもとに, 実演された領域の近傍の格子点を目標位置とする動作を生成し, その動作の主成分を子孫 (offspring) とする。このようにして生成された子孫を次世代の親とし, 同じ操作をさらに近傍の格子点へと適用することで, 作業領域全体の動作を生成していく。ある格子点において, 複数回動作が生成されることになるが, ユーザが指定する目的関数 (例えばロボットのジョイントトルクの総和) を最小にするような子孫を残す (サバイバル戦略)。結果として, 作業領域を分割した格子点を目標位置姿勢とする動作の主成分がライブラリとして記録される。任意の目標位置が与えられると, 近傍の格子点の主成分を用いて, 第 2 章で提案した実時間動作生成手法で動作を生成することができる。このような模倣学習の枠組みを提案することで, 人間の実演データに含まれる巧みさの情報をライブラリとして記録し, 作業範囲の任意の領域に対する動作として実時間再構成することが可能となった。本提案によって, 人間の実演回数を大幅に減らすことが可能となり, 実用上極めて有益な成果である。

第 4 章では,3 次元空間の任意の点に手を伸ばす (リーチング) 動作を例として, モーションキャプチャ装置で取得した人間の実演データをライブラリ化し, 作業領域の任意の領域に対するリーチング動作を生成するシミュレーションを行い, 第 2 章で提案した実時間動作生成法, 第 3 章で提案した動作ライブラリの生成と作業領域全体への適用法, の有効性を確認している。

第 5 章は結論である。

これを要するに, 著者は, 人間の実演データをライブラリ化し, それを用いてヒューマノイドロボットの動作を実時間で生成するための枠組みを提案したものであり, 提案された手法の従来手法に対する優位性, 他の形態のロボットへの応用性, 汎用性を考慮すると, システム情報科学およびロボット工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。