

## 論文内容の要旨

博士論文題目 An Imitation Learning Framework that Explicitly Considers Robot Configurations and Robot-Environment Interactions.

(ロボットの身体形状と環境とのインタラクションを考慮した見まね学習)

※ 論文題目が外国語の場合はワープロ等を用いること。また、その邦文を論文題目の下に ( ) で記入すること。

氏 名 有木 由香

(論文内容の要旨)

In this thesis, we propose imitation learning algorithms to cope with the difference of physical properties between the instructor and robot.

Attention has been directed to imitation learning in humanoid robotics in recent years. For humanoid robots with many degrees of freedom, a considerable amount of time is required to prepare multiple motions in advance since the number of combinations of joint angle trajectories is quite large. Imitation learning is considered as a suitable approach to initialize parameters in the vast search space.

However, direct use of the instructor's motion trajectories often fails because of the difference of physical properties between the instructor and the robot. For example, a humanoid robot can fall over if the robot directly copies the corresponding joint trajectories of an instructor's behavior.

We deal with three major cases of the difference of physical properties involved in the imitation learning paradigm.

- 1) The kinematics (e.g., size, the number of joints) of a demonstrator and an imitator are different.
- 2) The dynamics (e.g., weight, inertia) of a demonstrator and an imitator are different.
- 3) The skill transfer problem rather than only imitating behaviors.

We propose imitation learning algorithms to solve three cases by using each shared latent space.

- 1) We find a shared low dimensional latent space between demonstrator's and imitator's postures. Then, we derive a corresponding imitator's movement to a demonstrator's behavior.
- 2) We estimate the ground reaction force as shared space from captured demonstrator's movements so that an imitator can generate physically consistent imitated behaviors.
- 3) We extract task-related shared features from a demonstrator's movements.

Then, an imitator tries to improve task performance by using the extracted features.

氏名	有木 由香
----	-------

(論文審査結果の要旨)

学習者が教師の行動を観測し、スキルを獲得しようとする見まね学習は、スキル学習戦略の一つとして行動科学において注目されている。これは、見まね学習がヒトや高い知能を持つ動物によってのみ行われる学習戦略であり、多数のセンサーやアクチュエータを持つ高次元システムの制御に有効であると考えられるからである。本論文はこの視点に立ち、ヒト動作から特徴表現を抽出し、ヒューマノイドロボットやノンヒューマンキャラクターの運動を生成する方法を提案したものである。

その一つ目は、教示者とロボットの間で動力学特性が異なる場合を対象としており、計測したヒトの運動から床反力を推定することで、ロボットが物理的整合性を満たす見まね動作を生成する方法である。この方法により、ロボットが転倒することなく運動できることが、シミュレーションにより示されている。

二つ目は、教示者とロボットの間で運動学的特性が異なる場合を対象としており、両者の対応する姿勢の間に存在する共通の低次元空間を見つけることで、少数の例示だけで見まね動作の生成を可能とする方法である。この方法により、なめらかにアニメーションが生成できることが実験で示されている。

三つ目は、動作そのものではなくタスク達成のスキルの見まねを行う場合を対象としており、タスクに関連した特徴を教示者の運動から抽出し、動作を生成する方法である。この方法により、ロボットがタスクを実現できることを簡単な実験で示している。

以上をまとめると、本論文は、教示者とロボットあるいはキャラクターが異なる特性を持っている場合においても見まね学習を可能とする方法を提案し、その有効性を実際に確認したものである。これは今後のロボットの制御法の開発に大きく寄与することが期待できる。したがって、博士（工学）の学位に値するものと認められる。