

ミメシスの数学モデル：隠れマルコフモデルを用いた 階層的原始シンボル空間における運動の認識と生成

Mathematical Model of Mimesis: Motion Recognition and Generation in Hierarchical Proto-Symbol Space using Hidden Markov Models

○ 谷江 博昭 (東大) 稲邑 哲也 (東大) 正 中村 仁彦 (東大/CREST)

*Hiroaki Tanie, Tetsunari Inamura and Yoshihiko Nakamura
(Univ. of Tokyo, Dept. of Mechano-Informatics)

Abstract— We have proposed the mimesis model, which abstracts motions into Proto-Symbols by Hidden Markov Models, and Proto-Symbol Space for describing relations among the proto-symbols. In this paper, we introduce hierarchical system into mimesis models using proto-symbol space for realizing symbol manipulation. Through experiments, we show this model realizes recognition and generation of complex motions by symbol manipulation.

Key Words: Mimesis Model, Hidden Markov Models, Symbol Manipulation, Hierarchy System

1. はじめに

発達心理学の分野でミメシスという理論が注目されている¹⁾。これは見まねを通じたコミュニケーションがシンボル操作などの高度な知能の根源であるとする理論である。このミメシス理論に注目し、見まねを通じてシンボルを獲得しそれら进行操作することで全身行動を行うヒューマノイドの知能構築の研究が行われている²⁾。文献³⁾では行動を原始シンボルとして抽象化した際に、行動間が持っていた類似性などの情報を保有するような原始シンボル空間を構築し、原始シンボル空間を利用したシンボル操作を提案した。ここでいうシンボル操作とは、原始シンボル空間の幾何学を利用することで複数の運動が同時に行われる行動を認識・生成する操作である。

本論文ではこのシンボル操作を拡張し、時間とともに複数の運動間を移り変わる行動を認識・生成するシンボル操作のための数学モデルを提案することを目的とする。

2. 原始シンボル空間を用いた階層型ミメシスモデル

2.1 システムの概要

原始シンボル空間上の状態点の遷移を利用して行動間の遷移を表現し、それらを用いてミメシスモデルを階層構造にすることでシンボル操作を実現する。

従来のモデルにおいては行動を隠れマルコフモデルを用いて抽象化することで原始シンボルとした。本研究では同等の数学的手法を用いて階層構造を構築する。提案する階層型ミメシスモデルの概要を Fig.1 に示す。観察した行動から原始シンボル空間上の状態点の遷移を得る。原始シンボル空間上の状態点の遷移は原始シンボル間の遷移、つまり行動間の遷移を表している。行動間の遷移を HMM を用いて抽象化することで複雑な行動の記憶・認識を行う。原始シンボル空間上の状態点の遷移を抽象化する際には、行動を原始シンボルとして抽象化する数学的手法と同様の方法を用いる。この行動間の遷移を抽象化したものを原始シンボルの上位の概念という意味でメタ原始シンボルと呼ぶ。逆にメタ原始シンボルから原始シンボル空間上の状態点の遷移を生成し、その遷移を関節角の時系列データに変換することで行動の生成を行う。また原始シンボル空間上

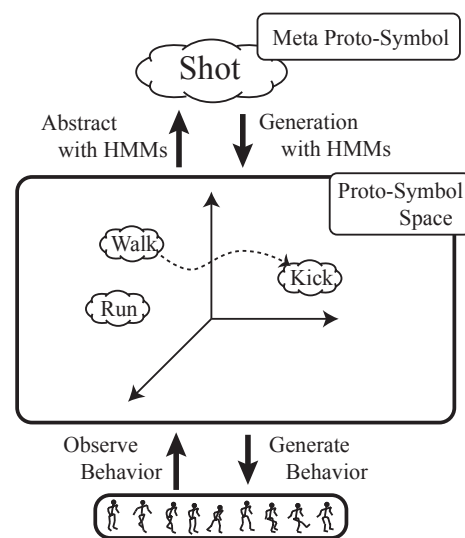


Fig.1 Outline of a hierarchical mimesis model

の状態点の遷移を幾何学的シンボル操作によって人工的に用意することでも原始シンボルの組合せによって行動を生成することができる。

2.2 原始シンボル空間を用いた行動の認識・生成

関節角度の時系列データから原始シンボル空間上の状態点の遷移を得るプロセスの概要を Fig.2 に示す。観察した関節角度 o_i の時系列データ $O = \{o_1, o_2, \dots, o_T\}$ から長さ T_{span} の部分に注目する (Step1)。注目した部分を $O_1 = \{o_1, o_2, \dots, o_{T_{span}+1}\}$ と表す。 O_1 を文献³⁾の方法を用いて原始シンボル空間の状態点として射影する (Step2)。

この注目する部分を T_{step} ずつずらししていく。 k 番目に注目する部分 $O_k = \{o_{1+(k-1) \cdot T_{step}}, \dots, o_{1+T_{span}+(k-1) \cdot T_{step}}\}$ を $k = 1, 2, \dots, \frac{T-1-T_{span}}{T_{step}} + 1$ と少しずつずらしながら随時射影していくことで、関節角度の時系列データから行動の遷移の様子を表す原始シンボル空間上の状態点の遷移を得ることができる (Step3)。

原始シンボル空間上の状態点の遷移から行動を生成するにはこの逆のプロセスをたどる。生成プロセスの概要を

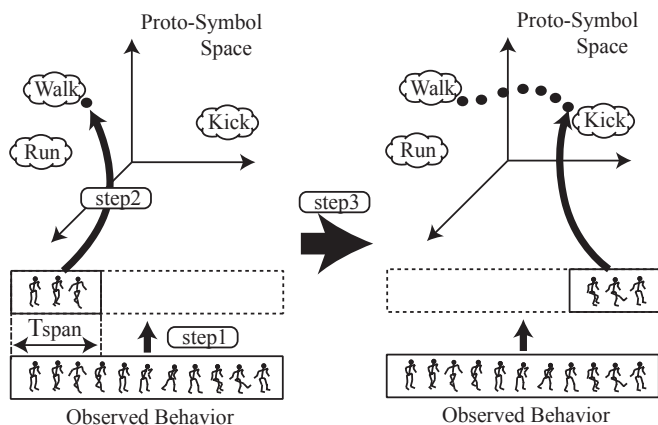


Fig.2 Procedure of projecting motion in proto-symbol space

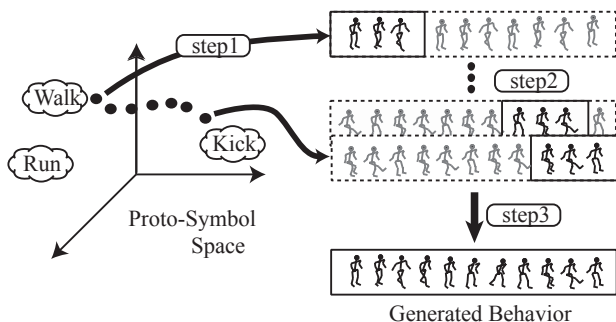


Fig.3 Procedure of motion generation

Fig.3 に示す．原始シンボル空間上の各状態点から文献⁴⁾の方法で行動を生成する (Step1)．時系列データに沿って各点から行動を生成し (Step2)，少しずつずらしながら合成していくことで原始シンボル空間上の状態点の遷移から関節角の時系列データを得ることができる (Step3)．

3. 階層型ミメシスモデルを用いた行動の認識・生成の実験

前節までで述べたシステムで実際の行動を観察し，行動の認識・生成を行った．実験の前提として，walk, kick, squat, stoop, stretch, throw の原始シンボルとそれらを配置した 10 次元の原始シンボル空間を事前に用意した．walk した後に kick するという行動を観察し，この行動を原始シンボル空間の状態点の遷移として認識した結果を Fig.4 に示す．Fig.4 の各軸はそれぞれ原始シンボル空間の主要な 3 次元を示している．原始シンボル空間上を walk から徐々に kick へ遷移していくのが分かる．次に”walk”の状態点から”kick”の状態点へ引いた線分に対応する状態点の系列から行動を生成した結果を Fig.5 に示す．観察した行動と同様に walk した後に kick するという行動が滑らかに生成されているのが確認できる．

以上の実験より，観察した行動を原始シンボル空間上の状態点の遷移に変換することで行動間の遷移を認識することができ，また原始シンボル空間上の状態点の遷移から行動を生成することで既知の行動を任意に組み合わせた行動を生成することが確認できた．

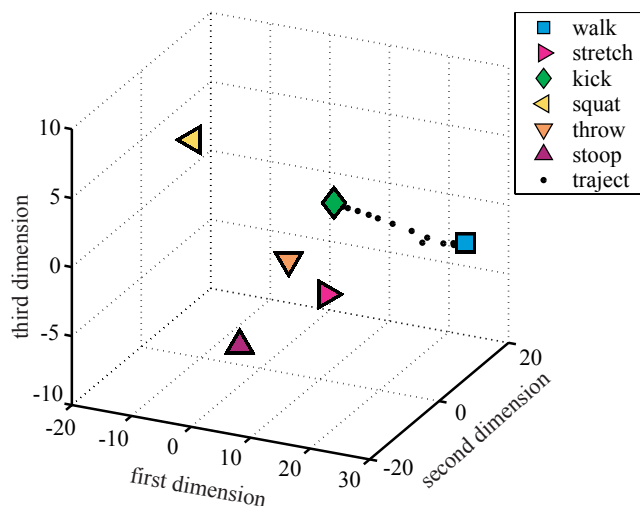


Fig.4 A result of motion recognition in the proto-symbol space

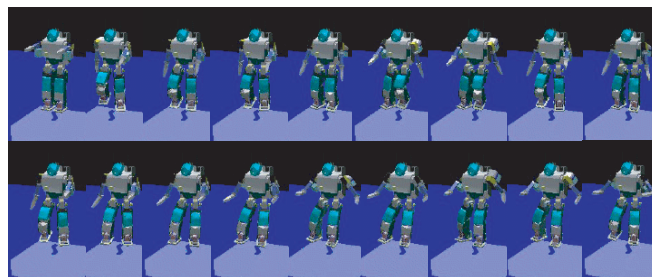


Fig.5 Generated motion by continuous proto-symbol manipulation

4. おわりに

本研究では原始シンボル空間を用いた階層型ミメシスモデルを提案した．原始シンボル空間を用いることにより，原始シンボルを操作しより複雑な行動の認識・生成が実現できることを確認した．原始シンボル空間上の状態点の遷移は人間の意図の遷移を示していると考えられる．原始シンボルは関節角度のダイナミクスを抽象化したものに過ぎなかったが，今回提案したメタ原始シンボルは人間の意図のダイナミクスを抽象化したものといえる．

今後，階層構造を重ねることにより高次元なシンボル操作へと発展するものと考え．階層構造を重ねるにあたっては，メタ原始シンボルを再帰的に抽象化しつつ，階層の数が発散しないようなモデルを考えている．

参考文献

- 1) Merlin Donald. *Origins of the Modern Mind*. Harvard University Press, Cambridge, 1991.
- 2) 稲邑哲也, 中村仁彦. 教示者と学習者の身体差を吸収するミラーニューロンモデル. 第 20 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, p. 3H18, 2002.
- 3) 稲邑哲也, 谷江博昭, 中村仁彦. 隠れマルコフモデルによって抽象化された運動間の関係を記述する原始シンボル空間の構成. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 '03, 2003.
- 4) 稲邑哲也, 谷江博昭, 中村仁彦. 連続分布型隠れマルコフモデルを用いた時系列データのキーフレーム抽出とその復元. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 '03, 2003.