

他者行動の観察と自己行動要素による原始シンボルの生成

○戸嶋 巖樹(東大) 江崎 秀明(川崎重工) 稲邑 哲也(JST, 東大) 中村 仁彦(東大)

Generation of Primitive Symbols using Primitive Self Motions and Observation of Others' Motions

*Iwaki Toshima(Univ. of Tokyo), Hideaki Ezaki(Kawasaki Heavy Industrial),
Tetsunari Inamura(JST, Univ. of Tokyo), Yoshihiko Nakamura(Univ. of Tokyo)

Abstract—In this paper we propose a method for generating "primitive symbols" to understand others' motions. To generate "primitive symbols". Others' motions are transferred into primitive self motions, primitive self motions are abstracted as primitive symbols. The method is based on mimesis learning, which is a fundamental learning function of human.

Key Words: mimesis, primitive self motion, primitive symbol, motion understanding, probabilistic neural network, hidden markov model

1. はじめに

認知科学や発達の研究から近年ミメシスと呼ばれる学習構造が発達における重要な位置を占めているといわれている¹⁾。我々はこの考えに注目し、他者の行動を観察し真似ることによって行動理解を実現できると考える。まず他者の行動を自己の行動と対応付け他者の行動の意図を汲むこと、逆に自己の行動を他者の行動と対応付けることで、第三者の視点による客観的な理解が可能になる。またものまねによって生成される行動と観察した行動の比較を繰り返し、学習を重ねることで理解を発達させる。この考えに基づきヒューマノイドのための行動理解システムを考案した²⁾。その概要がFig.1である。図においてStep 1からStep 6までを行うことで他者の行動を理解し、自己の行動として生成する。本稿ではStep 1～Step 3とその修正による行動の原始シンボルとしての獲得を目指す部分について述べる。またStep 4～Step 6については文献³⁾で述べる。

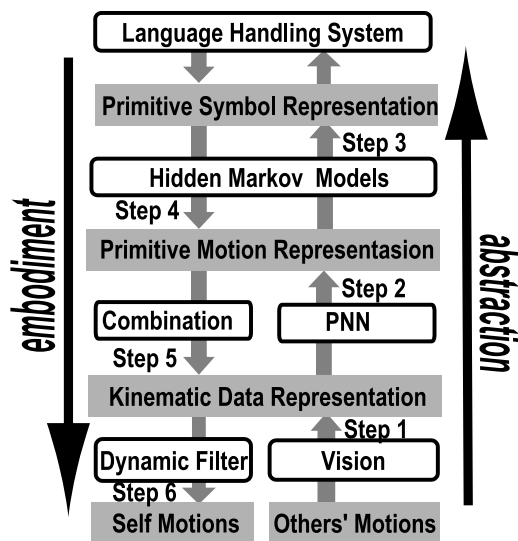


Fig.1 Overview of motion understanding system using mimesis

2. 自己行動要素と原始シンボル

他者を観察して得られる視覚情報に基づく客観的行動パターンと自己の筋肉への指令値などに相当する主観的行動パターンは次元が異なるものであり、単純に対応付けることは難しい。したがって他者の行動と自己の行動を対応付けて理解するためには抽象化された行動のシンボルが必要となる。本研究ではそのようなシンボルとして自己行動要素と原始シンボルを導入する。

2.1 自己行動要素の導入

はじめに基本的な要素として単純な自己行動要素を用意した。それらをFig.2に示す。横軸は時間、縦軸は関節角である。自己の関節角の感覚は体性感覚の一つとして生得的に得られている。また、観察により他者の関節角を知ることができる。従ってこのような自己行動要素によって、観察する他者の行動と生成する自己の行動を対応付けることができる。

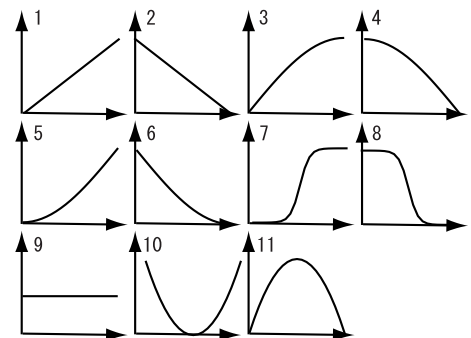


Fig.2 Self motion primitives

2.2 原始シンボルの導入

前節で述べた対応付けは時間と関節角に依存したパターンとしての対応付けであり、時間や関節角に依存しない対応付けを行うためにはさらに抽象化されたシンボルが必要である。これを原始シンボルと呼ぶ。原始シンボルは一連の行動に関して一つの原始シンボルが対応する。性質としては、一つの原始シンボルは複数の同一の行動とみなせる客観的または主観的行動パターンが統合され抽象化されたものであり、その元と

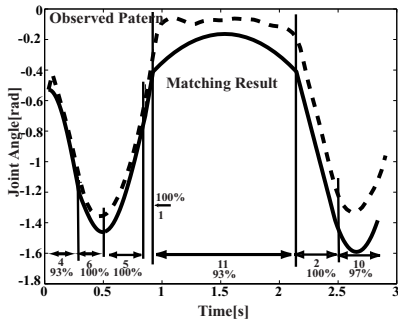


Fig.3 Modified matching data and observed data of left knee

なった複数のパターンと対応する。また、このような原始シンボルを介して結ばれる客観的行動パターンと主観的行動パターンを互いに他に変換することができる。このような性質を持つ原始シンボルによる客観的行動と主観的行動の対応付けは、自己や他者の認識、他者の意図の理解ということにつながる。さらにこれらの能力はコミュニケーションや社会性という観点からも重要である。前述のものまね学習はこのような原始シンボルを作る作業であると考ええる。

3. 原始シンボルの生成シミュレーション

3.1 PNN による行動要素の判定

PNN はラジアル基底関数を用いたニューラルネットワークの一種で、入力に対し各クラスの特徴ベクトルを用いてクラス分けをする。特徴としてはノイズに強く、また結果に対してそれがどれほど確からしいクラス分けだったかを確率で出力することができる。

まずモーションキャプチャシステムで人間の歩く動作を観察した。得られたパターンはサンプリングタイム 0.033[s] の関節角度で自由度は重心位置の絶対座標と姿勢の 6 自由度の他に各関節角の 28 自由度の計 34 自由度である。これを歩く動作で 4 種類各 3 秒程度観察した。次に観察されたパターンを自由度ごとに関節角の加速度の大きな点でセグメンテーションした。そして切り出したパターンに対し PNN を用いて自己行動要素とのマッチングを行った。これは Fig.1 の Step 2 にあたる。以降一例として歩行動作における左膝の関節について取り上げる。Fig.3 は観察パターンとマッチング結果を示したものである。歩行動作の約 1 周期半分で横軸は時間 [s] 縦軸は関節角度 [rad] である。また各区間の数字は Fig.2 の各自己行動要素の番号と PNN による判定の確からしさである。マッチング結果の確率が低い区間について、さらに 2 つの区間に分け確からしさの時間平均が高くなるようにマッチングしなおす修正方法と、2 つの自己行動要素を同時に当てはめて重ね合わせるようにする修正方法で実験を行い、前者の方法を採用した。

3.2 HMM による行動要素列の抽象化及び行動の判定

次に自己行動要素の時系列パターンからこれを尤もよく発生させるような隠れマルコフモデル (HMM)⁵⁾ を作成する (Fig.2 Step 3)。HMM は自己行動要素の時系列パターンをまとめて抽象化、概念化し、原始シンボルと対応付けるものである。特徴としては、観察されたパターンが出力される尤度を簡単なアルゴリズムで計算でき、観察されたパターンを最尤にするモデルの学習を容易にすることができる。HMM は次の 3 つのパラメタ、状態 i から j への遷移確率 A_{ij} 、状態 i から出力 x を出す確率 B_{ix} 、初期状態 π 、で表される。自己行動要素の時系列パターンは x の時系列パターンに対応す

る。また原始シンボルは 3 つのパラメタの組み合わせに対応する。そして、この x の時系列パターンを最も良く出力するように 3 つのパラメタを Baum-Welch 法によって学習した。ここに HMM を用いた理由は、自己行動要素列からの原始シンボルの生成と原始シンボルからの自己行動要素列の生成を一つのモデルで行なえることである。原始シンボルのレベルでの行動の理解とは、まず各行動パターンについて HMM が作られ、それらの HMM を新たに観察されるパターンと対応付けられ、かつそのような HMM を持ち利用できる状態になることである。

具体的な HMM の仕様は文献³⁾を参照されたい。次に HMM が自己行動要素の時系列パターンと対応付けができたことを確かめるため、複数の行動を観察し、過去の観察によって生成された HMM と新たに観察した行動との対応を判定する実験を行った。二人の被験者 A、B の歩行パターンについて HMM を作成し (それぞれ HMM_A, HMM_B とおく)、A と B の歩行パターンを改めて観察した。結果を表 1 に示す。数字はそれぞれの歩行パターンが各 HMM に属する尤度である。このように A、B の歩行パターンをそれぞれの HMM から互いに正しく識別することができた。

	A	B
HMM_A	0.1189	5.3670×10^{-31}
HMM_B	3.4311×10^{-19}	7.0092×10^{-8}

Table 1 Judge motions using HMMs and results are probabilities. A, B: observed motion patterns; HMM_A, HMM_B : primitive symbols

4. おわりに

本論文では

- 観察パターンと自己行動要素のマッチング
- HMM による原始シンボルの生成
- 観察した行動と原始シンボルの尤度評価

の各機能の実現方法を確立した。

今後は自己行動要素をものまね学習する中でより多様にする構造が必要である。また同時に行われる複数の行動を複数の原始シンボルから同時に生成することやそのような行動を観察し複数の原始シンボルに対応させる問題についても考える必要がある。

本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発の支援を受けた。

参考文献

- 1) M. Donald, "Origins of the Modern Mind", Harvard Univ. Press, 1991.
- 2) 江崎, 戸嶋, 中村 "自己行動要素による他者の行動理解-アナロジーによる概念の形成と抽象化", ロボティクスメカトロニクス講演会'00 講演論文集, pp. 2P1-65-109, 2000.
- 3) 稲邑, 江崎, 戸嶋, 中村, "ミメシスループと原始シンボルを用いた全身行動の生成", 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000.
- 4) Philip D. Wasserman 著, 嘉数 有昇, 古川 正志, 森川一, 共訳, "NEURAL COMPUTING -上級編-", 森北出版株式会社, 1998.
- 5) Lawrence R. Rabiner, "A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition", Proc. of IEEE vol77, No.2, pp.257-286, 1989.