

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

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

Generation of whole body motion using mimesis loop and primitive symbols

*T.Inamura (JST, Univ. of Tokyo) I.Toshima (Univ. of Tokyo)
H.Ezaki (Kawasaki Heavy Industrial) and Y.Nakamura (Univ. of Tokyo)

Abstract— Mimesis is a primitive learning framework and origins of human intelligence. We are developing behavior acquisition and understanding system based on the mimesis. In this system, observed motions are abstracted into conceptual primitive symbols as combination of self primitive motions. In this paper, we mention the generation of whole body motion from the conceptual primitive symbols.

Key Words: Imitation Learning, Humanoid, Motion Generation, Human-Robot Interaction, HMMs

1. はじめに

我々は、人間の基本的学習機構の一つであり、人間の知性の起源であるとも考えられているミメシス¹⁾を軸として、他者の行動の観察に基づく動作パターンの抽象化と自己行動の獲得に関する研究を進めている。文献²⁾ではこのうち観察した動作を抽象化し、他者との言語コミュニケーションや概念の形成などを実現するための原始シンボルを生成する手法について述べた。本稿では、逆方向として、原始シンボルから動作パターンを生成するメカニズムに注目する。動作パターンの生成時における問題点として、確率過程の不確定性による再現性の乏しさ³⁾があった。本稿では、この問題に対応可能な動作生成手法を提案する。

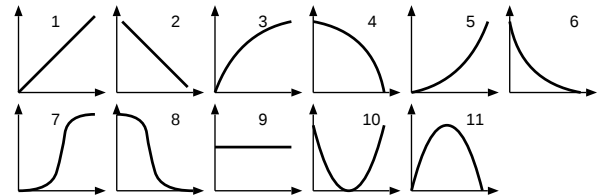


Fig.2 Self primitive motions

2. 原始シンボルを用いた全身動作の生成

2.1 自己行動要素と原始シンボルを用いたミメシス

ミメシスループは大きく二つの段階から成る。前半では観測された動作を自己行動要素とマッチさせ原始シンボルに抽象化する。自己行動要素とは先天的に与えられた基本的動作パターンの事で、Fig.2のような11種類のパターンが用意されている²⁾。観測された動作パターンは各関節ごとに11の自己行動要素に分解され、この自己行動要素の時系列集合を一つの完成した行動として原始シンボルを用いて抽象化する。時系列パターンとシンボルの関係を記述するために、隠れマルコフモデル (HMM) を用いる。

逆に、原始シンボルから全身の動作を生成するには、次の二つの手順を踏む事となる。

1. 原始シンボルから各関節に対する自己行動要素列を生成する (Fig.1, Step 4)
2. 自己行動要素を関節角の変換し、動力的補償する⁴⁾ (Fig.1, Step 5,6)

2.2 HMM からの自己行動要素列の生成

隠れマルコフモデル (HMM) は、時系列データを入力とし、その時系列データがどのカテゴリに属するものを判定するための確率過程モデルである。HMM の内部状態は、状態遷移確率 A 、出力確率 B 、初期分布確率 π 、の3種類のパラメータで決定され、これらのパラメータが一つの原始シンボルと対応する事になる。このモデルから出力される記号列 $O(t)$ を自己行動要素と見なし、出力される行動列の尤度 $P(O(t)|A, B, \pi)$ を用いて動作パターンと原始シンボルの結合関係を表現する。

この尤度の計算を行なう事で、ある自己行動要素列に対応する HMM を選択し認識する事は可能であるが、HMM から最も良く出力される自己行動要素列を求める

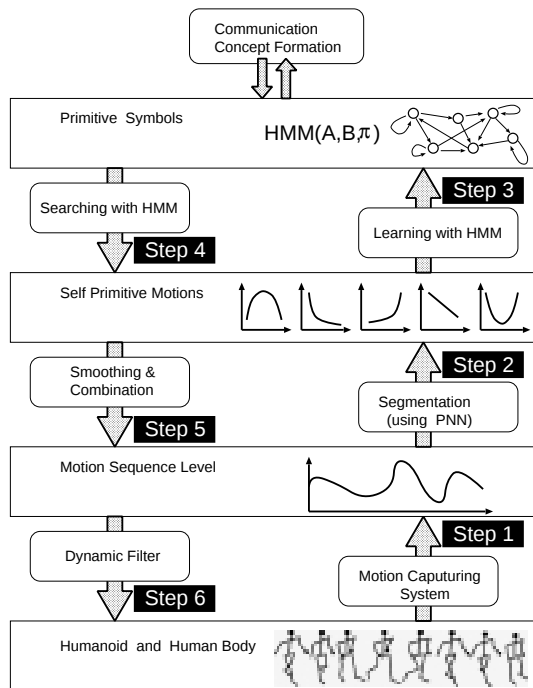


Fig.1 The mimesis loop for imitation learning

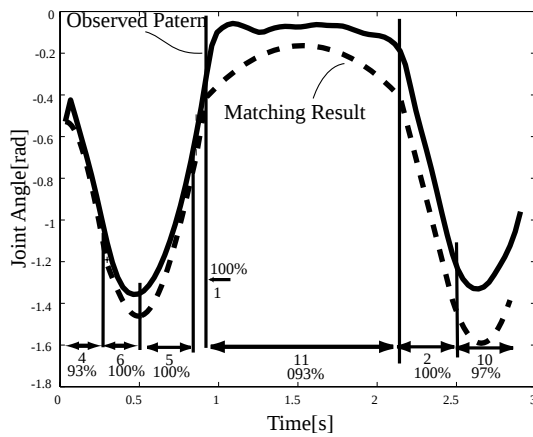


Fig.3 Segmented primitive motions (left knee)

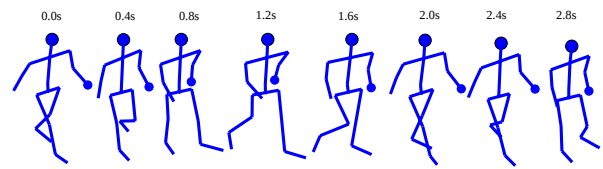


Fig.4 An observed motion

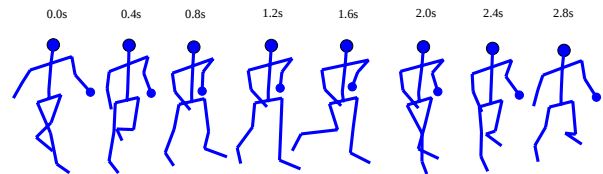


Fig.5 A generated motion

事は難しい．(出力され得る $O(t)$ の全パターンの中から最大尤度のものを求める事に相当する) 音声合成の研究分野においては，連続分布型 HMM を用いてパターン生成する例⁵⁾も見られるが，音声認識 / 合成で良く用いられる Left-to-Right モデルに依存した方法である．人間の動作のように周期的な要素を含む場合，Left-to-Right モデルは不適切であるため，通常の離散型 HMM における時系列データの生成を検討する．

理想的には，パターンが取り得る空間全体に対して探索を行い，もっとも相応しいと思われるパターンを見つけ出せばよい．しかしながら自己行動要素列の長さを l とした場合，パターンの取り得る組合せは 11^l と膨大なものになり，最尤法を適用する事もできない．そこで遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた探索法を導入する．

HMM から出力される自己行動要素列の長さはあらかじめ一定の長さ l を取ると仮定し，一つの遺伝子を一つの行動要素と対応させ，11種類の行動要素を l 個の遺伝子で表現する．遺伝子に対する適合度として，その遺伝子で表される自己行動要素列が HMM によって出力される尤度 $P(O(t)|A, B, \pi)$ を用いる．また，突然変異の戦略としては，一つの遺伝子を変化させるのではなく，転置を用いる事によって探索の効果を上げている．

3. 全身行動の生成シミュレーション

モーションキャプチャシステムによって観察した人間の歩行動作を Fig.4 に示す．ここで左膝関節の関節角に注目すると，Fig.3 の時系列パターンとなった(実線)．このパターンを自己行動要素と対応させたものが図中の破線で表されている．この場合， $\{4, 6, 5, 1, 11, 2, 10\}$ という順序の行動要素列として認識されている．

個体数 500，一点交差で交差率 0.9，突然変異率 0.95%，エリート戦略の条件下において，約 500 世代で Fig.3 で示した自己行動要素列とまったく同じ系列を生成した．計算時間は，Pentium-III 600[MHz] プロセッサで約 3[sec] であり，リアルタイムには至らないが，他者とのコミュニケーションに基づく動作生成などへの応用を考えた場合，十分な速度を得ている．

得られた自己行動要素を関節角の時系列にデータに変換した動作パターンを Fig.5 に示す．(Step 5 に相当) Fig.4 と良く似た行動が生成されており，Fig.3 のグラフからも分かるように，運動学的にほぼ同等な運動を再生している．しかしながら行動要素間の継ぎ目が非連続になるなどの原因から，力学的には同等な運動を再生している保証はない．そこで，動力学的な安定条件を力学フィルタ⁴⁾を利用してチェックする．(Step 6 に相当) この過程では動力学的に安定でない動作パターンをベースに，安定した動作パターンを生成する．

4. おわりに

ミメシスループを用いた行動学習のうち，抽象化された原始シンボルから行動の時系列パターンを生成する手法について述べた．時系列データに含まれるダイナミクス構造を HMM から生成するためには，全パターンからの探索問題を解くことになるが，これを遺伝的アルゴリズムを用いて効率良く生成する手法について述べた．

現在の問題点としては，一つの関節に対して一つの HMM が対応している事である．このままでは同じ部分動作を共有する異なる全身行動を表現する事が難しい．全身動作に対応した行動要素を導入する事を予定している．また，GA を用いて行動を生成する際に現在は HMM による尤度を用いているが，力学的安定性を評価し，それを適合度とする事で，実際のヒューマノイドなどで利用可能な動作パターンを生成する事ができると考えている．

本稿で行なった実験は，他者の行動の観察に基づく動作パターンの抽象化と，自己行動の生成に関するものであった．これを拡張して，生成した動作パターンを再び観測入力としてミメシスに inputs する事により，自分自身の行動を精練させる事を考えている．また，言語によるコミュニケーションや，シンボルによるプログラミングなどを通じて行動するヒューマノイドへの応用へ展開して行く予定である．

なお，本研究は科学技術振興事業団 CREST 「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) Merlin Donald. *Origins of the Modern Mind*. Harvard University Press, Cambridge, 1991.
- 2) 戸嶋巖樹，江崎秀明，稲邑哲也，中村仁彦．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．第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2000.
- 3) 江崎秀明，戸嶋巖樹，中村仁彦．自己行動要素による他者の行動理解．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.
- 4) Katsu Yamane and Yoshihiko Namamura. Dynamics filter - concept and implementation of on-line motion generator for human figures. In *Int'l Conf. of Robotics and Automation*, pp. 688-695, 2000.
- 5) 徳田恵一，益子貴史，小林隆夫，今井聖．HMM からの音声パラメータ生成アルゴリズム．信学技報 SP95-122, pp. 35-42, 1996.