

力学的身体性を用いたミメシスの閉ループ化

Closing mimesis loop by humanoid embodiment

○戸嶋 巖樹(東大) 稲邑 哲也(JST, 東大) 中村 仁彦(東大)

Iwaki Toshima, Tetsunari Inamura and Yoshihiko NAKAMURA

University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Abstract: In this paper we propose a method for understanding others' motion. Others' motions are transferred into primitive self motions, and re-generate for self motion. Primitive self motions are modified or selected by the result of re-generated self motion. This method is based on mimesis learning, which is a fundamental learning function of human.

Keywords : Mimesis, Imitation Learning, Primitive Symbol, Embodiment

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]. 他者の行動を観察し自己の行動として真似ることで行動を理解できる. また, 自己の行動を第三者の視点により客観的に理解することが可能になる. 著者らはこの考えに基づきヒューマノイドの行動理解システムを考案した[2][3]. 一方, 見まね学習においては, 神経科学や認知科学に基づく研究[4]や前提条件を極力廃す立場から他者の座標系の獲得[5]などが行われている. 本研究では特に力学的身体性に基づき, 見まねによって再現された行動を評価し, 見まねのプロセスにおいて設定される基本的行動の要素を身体性に合うものにする.

2 ミメシスループと身体性

本研究で提案する行動理解システムをFig.1に示す. 下から上へのプロセス(Step1 ~ 3)が行動の抽象化であり, 他者の行動を認識しシンボル化する[2]. 上から下へのプロセス(Step4 ~ 6)が行動の具体化[3]であり, シンボルとして獲得した行動を自らの身体を通じて再現する. これまでは再現された行動を評価するシステムがなく[3], 自己行動要素として選ばれたものへの評価基準がないという問題があった. ここで自己行動要素とは観察と見まねを結びつけるためのあらかじめ与えられる基本的な行動である[2]. 今回Step7の部分を導入することでそのような問題が解決される. Step1 ~ 7により見まねを行い, 行動を理解・獲得する. 本研究では上記システムをミメシスループと呼ぶ.

身体性としてはヒューマノイドの物理パラメタに關して, 手足の長さや座標系, 重量, 可動範囲などを用いて表すことを考えることができるが, 本研究では自己で行動を実現することを念頭に置き, 他者の行動を実現するための自己の関節トルクを用いて身体性を表現する.

自己行動要素の時間方向の長さを0.2[sec]と短い時間に固定し, 関節角速度を自己行動要素とした. 関節角速度と関節トルクは密接に関連しており自己行動要素を身体性により関係が強いものに保つためには時間軸方向に短い時間にすることが望ましいと考えたからである. 具体的には関節角を観察した行動と等しくなるようにコン

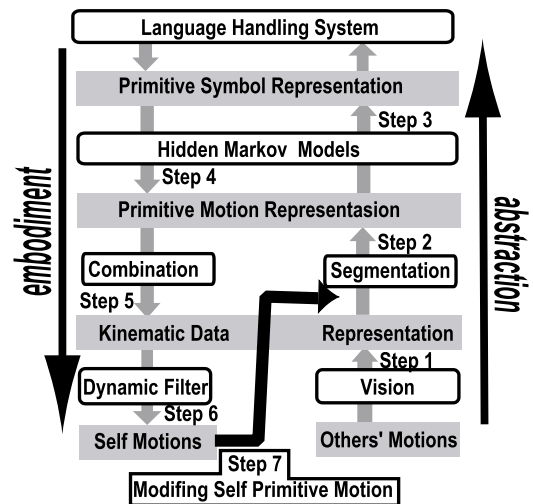


Fig. 1: Overview of motion understanding system using mimesis

ロールした場合, 無理な関節トルクが要求される可能性がある. 観察した行動を実現できる関節トルクとミメシスループの結果として得られる関節トルクの差も身体性と考えらる. これらを用いてより自己行動要素を変化させていくことが出来る.

3 力学的身体性に基づく見まね学習

3.1 用いた観察データと自己行動要素

自己行動要素は関節の角速度の異なるもの5種類を1組として8組用意した. ここからミメシスループの中でより身体性に合ったものを選んでいくことがStep7に対応する. 具体的な角速度は表1に示す. 以降の議論において表1に挙げた組み合わせを左から $S_1 \sim S_8$ とする.

見まねの元となる観察データは自分(シミュレータ中のロボット)が歩いているものを使用した. 行動としては5秒間で3歩歩いている. 力学シミュレータとしてはOpenHRPを用いた[6][7]. 観察データの様子をFig.2に示す.

Motion primitives	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
Velocity[rad/sec]	$\pm\{0.5, 0.1\}$	$\pm\{0.5, 0.2\}$	$\pm\{1.0, 0.1\}$	$\pm\{1.0, 0.2\}$	$\pm\{1.2, 0.1\}$	$\pm\{1.2, 0.2\}$	$\pm\{1.4, 0.1\}$	$\pm\{1.4, 0.2\}$
Error of angle [rad $\times$ sec]	33.6	26.54	53.62	37.09	55.27	34.54	55.31	30.45
Result of walk	○	○	△	△	×	×	×	△

Table 1: Result of simulation "Walking" (○ : success all steps, △ : success 2 steps, × : success 1 step)



Fig. 2: Reference behavior for mimesis-loop

3.2 関節角への追従結果

上記の自己行動要素によってどの程度観察に近い関節角度が得られたかを比較する．今回は歩行動作の膝と股関節に注目した．関節角の面積誤差の絶対値を時間積分した結果を表1の第3行に示す．実際に歩行している観察データに近いことが望ましく，最後まで転倒しなかったものが比較的小さな値となった．

転倒しなかったものの中で，観察した関節角にもっとも良く追従していたのは S_2 の時であった．この時の膝及び股関節の観察した行動と身まねした行動の結果を具体的にFig.3に示す．左が右足股関節，右が右足膝関節のpitch角でいずれも実線が観察した行動，破線が見まねの目標軌道を示している．少なくとも4[sec]までは追従できていることが判る．

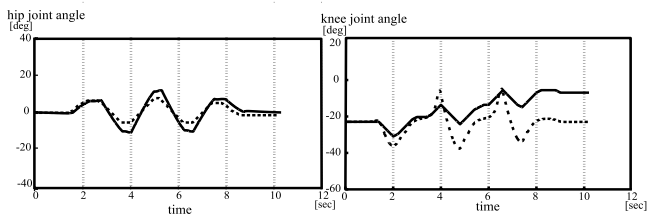


Fig. 3: Angles of knee and hip joints (broken lines : observed data ,solid lines : mimesis data)

3.3 力学的身体性としての関節トルク

見まねによって再現された行動において力学シミュレータ内で発生した関節トルクをFig.4に示す．実線が見まねの結果生じたトルクであり，破線が観察した行動において実際に生じていたトルクである．いずれも右足膝関節のpitch方向にかかったトルクである．左は S_2 ，右は S_5 の場合である．この間に右足を踏み出し，左足を浮かせるまで(第1歩目)を行っている．共にこの範囲では転倒していないが S_5 はこの後すぐに転倒した．Fig.4においても S_5 は，最後まで転倒しなかった S_2 に比べ，観察された行動におけるトルクと異なるトルクを発生させていることが判る． S_2 は実際に歩けており，この時アクチュエータの性能を超えるトルクは出ていない．

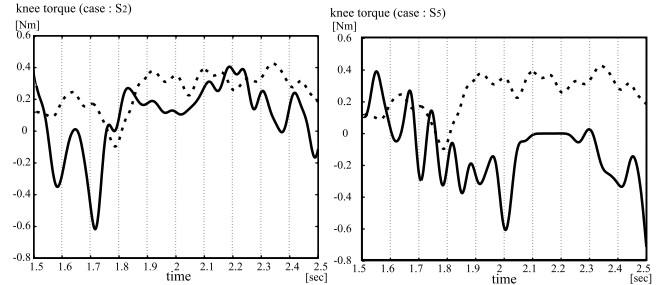


Fig. 4: Torque of knee joint(broken lines : observed data ,solid lines : mimesis data)

したがって見まねを行った結果，身体性が考慮された自己行動要素として S_2 の場合が選択され，これを用いて観察した行動が理解されたことになる．

4 おわりに

本稿においては自己行動要素を5種類という少ない数しか用意しなかった．自己行動要素の数を増やし，より詳細に観察することができれば，より忠実に行動を再現することができる．本研究の提案するミメシスループは行動の抽象化を伴う理解を目指しており，身体性と共に行動の認識についても考慮する必要がある．認識過程[2]においては，多くの自己行動要素を用いることは，計算量の増加と認識の困難さを生じさせることとなる．したがってこの2つの観点からの評価を同時に用いることで自己行動要素を最適化していくことが重要である．

なお，本研究は科学技術振興事業団の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] M. Donald, "Origins of the Modern Mind", Harvard Univ. Press, 1991.
- [2] 戸嶋，江崎，稲邑，中村，"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，pp. 803-804, 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，pp. 801-802, 2000.
- [4] Stefan Schaal, "Is imitation learning the route to humanoid robots?", Trends in Cognitive Sciences, vol.3, pp. 233-242, 1999.
- [5] 吉川 雄一郎，浅田 稔，"3次元再構成を伴わない観察による他者行動の模倣"，第5回ロボティクスシンポジウム予稿集，pp. 158-163, 2000.
- [6] Y.Nakamura, K.Yamane, "Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.16, no.2, pp.124-134, 2000.
- [7] 比留川博久，小原一太郎，河村進，"HRP 仮想プラットフォームにおける幾何計算サーバ"，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99講演論文集，pp. 2P2-78-094, 1999.