

# 感覚系情報処理と運動系情報処理の相互作用による行動選択機構の実現

## Realization of Adaptive Behavior Selector based on the Interaction between Sensory and Motor Information Processing

石原 辰也 (東大)   〇稲邑 哲也 (JST/東大)   中村 仁彦 (東大)

Tatsuya Ishihara, Tetsunari Inamura and Yoshihiko Nakamura  
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

**Abstract:**In this paper we propose a novel method for building a interaction model between sensory, motor and symbol representation. We have proposed interaction model between motor and symbols, and applied it to imitation learning framework. In this paper, situation recognition and behavior selection framework is realized with advanced interaction model. We have confirmed the feasibility of the method through experiments on humanoid simulator.

**Keywords :** Imitation Learning, Associative memory, Embodiment, Symbol Emergence

## 1 はじめに

脳科学の研究においてミラーニューロンが発見され、他者の行動を観察するとき、同一の行動を自ら生成する時とで脳の同じ部位が使われていることが示されている [1]. この事実は行動の生成と認識が同一の計算原理で行われていることを示唆している. ヒューマノイドにも同様の計算原理で行動の生成と認識が行えたならば、ミラーニューロンに相当する部分はシンボルを表現するモジュールとなり、行動の観察と生成を繰り返す見まね学習を通じてシンボルが創発される可能性が期待される. 我々はこの枠組みを実現するため、リカレントニューラルネットを用いてミラーニューロンを実装する試みを行ってきた.

ここで、ミラーニューロンは運動を取り扱うものであったが、センサに相当する体感情報も運動情報と強く密接に関連しているはずであり、この相互作用を用いると先に述べたシンボルの創発だけでなく、ヒューマノイドの行動を制御する上で様々な利点が期待できる. 本稿ではその中の一つの応用として、状況を判断し、その状況に応じた適切な行動を選択する機構の実現を目指す.

## 2 感覚系/運動系情報処理の相互作用による行動選択

パターンとシンボルをニューラルネットを用いて結びつける従来のモデル [2] は、パターンとシンボルが一对一対応するモデルであったが、本研究ではパターンを行動とセンサに分け、Fig.1 のようなシンボル、運動情報、感覚情報の間の相互作用モデルを提案する. 従来の行動パターンとシンボルの関係は相互作用①、③で表現され

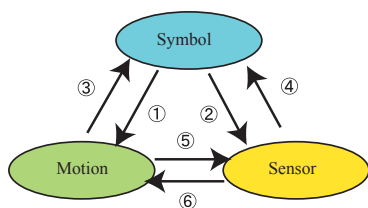


Fig. 1: Interaction model of symbol, motion, and sensor

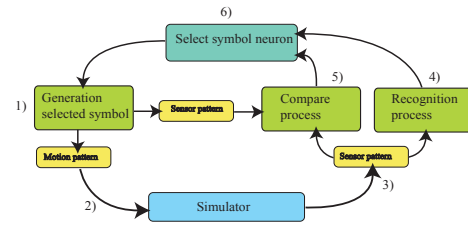


Fig. 2: An overview of symbol selection system

る. ②, ④のシンボル/センサパターン間の相互関係と, ⑤, ⑥で表される運動/センサパターン間の相互作用が追加される事になる. ⑤, ⑥を用いて運動を想起する研究もされているが, 感覚情報に対して対応する運動情報が反射的に生成されるのみであった [3]. 本研究では①～⑥の相互作用を有機的に結合する事で、シンボルからの運動の想起だけでなく、状況に応じた運動の選択という上位の判断を行わせる. 具体的には Fig.2 に示した次のようなプロセスを行う.

1. シンボル (状況) に対する運動を想起する
2. 運動を実行し、センサ情報を観測する
3. シンボル (状況) に対するセンサ情報を予測する
4. センサからシンボル (状況) の認識を行う,
5. 予想したセンサと実際のセンサとの比較を行う
6. 4 と 5 の結果を合わせてより良いシンボル (状況) を選択し、1に戻る

この予測や生成などのプロセスをニューラルネットを用いて実装し、1～6までのプロセスを逐次的に繰り返すことで状況を認識し、適切な行動の選択が可能となる.

## 3 連想記憶モデルを用いた行動選択機構の実現

連想記憶型の神経回路モデルは一部の情報が欠けていても他方が想起できるという特徴がある. この特徴を応用して時系列パターンとシンボル間の相互作用をリカレントニューラルネットワークを用いてモデル化する. Fig.3 に提案するモデルの構造を示す. パターンに対応するニューロンは、運動ニューロンとセンサニューロンに分けられ、各ニューロンはプリミティブと呼ばれる表

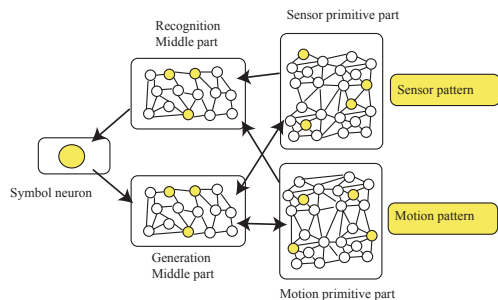


Fig. 3: An overview of proposed system

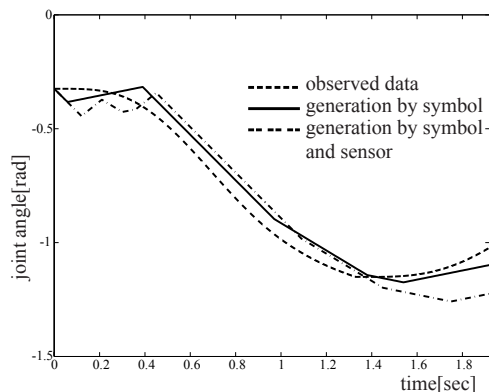


Fig. 4: A result of generation for leg pitch joint angle

現要素（各速度やセンサの離散値など）と対応している。シンボルとパターン部の間には中間層を設置するが、認識時と生成時のために二方向分用意する。ニューラルネットの学習則や想起ダイナミクスなどは文献 [2] を参照されたい。

## 4 シミュレーション

ヒューマノイドにおける行動選択実験のため、全身 20 自由度のヒューマノイドシミュレータを用いた [5]。ここでは左右対称の動きを扱う前提のもとに、10 自由度の関節に対してそれぞれ 10 種類の行動プリミティブを設定した（膝と股関節のみ 20 種類）。また、足裏の力センサとジャイロセンサを用い、それぞれの 10 個のセンサプリミティブを設定した。行動ニューロンを 140 個、センサニューロンを 200 個、中間層を 400 個として、2 秒間の理想的な行動を設計し、その際の動作とセンサ情報をサンプリングタイム 100[msec] で計測し、ニューラルネットに学習させた。

Fig.4 は相互作用①、⑥のパフォーマンスを調べた結果である。点線は左股関節の pitch 方向の関節角の学習データ、鎖線はシンボルからの行動の想起、実線はセンサ情報とシンボルからの行動の想起を示す。シンボルのみを用いた生成（①）よりも、シンボルとセンサ情報の両方（①+⑥）を用いた方がより学習データに近い運動を想起している。

ここで、各相互作用の組み合わせによる、行動選択の実験について述べる。平坦な床と上り坂の上、という二つの状況を想定し、その状況でスクワット運動する様子をそれぞれを担当するニューラルネットに学習させた。実際には床が平坦であるが、ロボットには上り坂でスク



Fig. 5: A result of motion generation

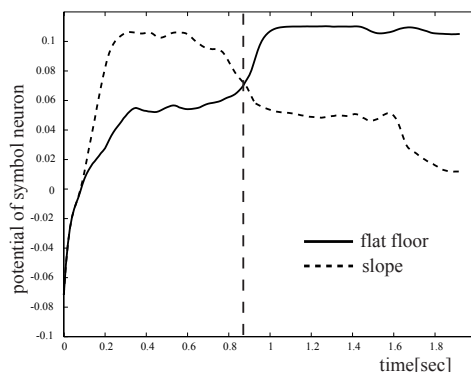


Fig. 6: A result of select symbol by recognition

ワットをするように指示をする、という状況で実験を行った。Fig.6 にそれぞれの状況に対応するシンボルニューロンのポテンシャル値を示す。実線が平坦な床に対応し、点線が上り坂に対応している。ロボットは約 0.85 秒までは上り坂だと状況判断しているが、その後判断を変え、平坦な床の上での運動パターンに切り替えた。そのときの運動の様子を Fig.5 に示す。図が示す通り、妥当な行動が生成されている。

## 5 おわりに

本研究では、連想記憶モデルに基づく感覚系情報処理と運動系情報処理の相互作用モデルを用いて、リアルタイムな情報に応じて行動をオンラインで選択する機構を構築した。これは、シンボルの創発とシンボルマニピュレーションのモデルを統合する一つの手法と言える。今後は、力学的な要因も考慮して運動を生成できるモデルへと発展させて行く予定である。

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」（代表：中村仁彦）の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Vittorio Gallese, Alvin Goldman. A Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading, Trends in Cognitive Sciences, Vol.2, pp.493-501, 1998
- [2] 下崎守朗, 稲邑哲也, 中村仁彦. 連想記憶による全身行動パターンの認識, 記憶, 生成, pp.2P1-B12, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2001
- [3] 萬恭明, 國吉康夫, 稲葉雅幸, 井上博充. 視覚・運動融合学習に基づく腕動作の原始模倣モデル, 第 19 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp403-404, 2001
- [4] Y.Nakamura, K.Yamane, "Dynamics Computation of Structure Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol16, no.2, pp.124-134, 2000.
- [5] 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.