

柔軟関節をもつ人間型ロボットにおける 神経力学モデルを用いたダイナミック動作の模倣

壺内将之[†], 西出 俊^{*}, 信田春満[‡], 奥乃 博[‡], 尾形哲也[‡]

京都大学工学部情報学科[†] 京都大学大学院情報学研究科[‡] 京都大学次世代研究者育成センター^{*}

1. はじめに

ヒトの身体的特徴を取り入れたヒューマノイドロボットは、人間に近い振る舞いが可能であることから人間と同じ環境下で共存でき、人間の代わりに様々なタスクをこなすことが期待されている。人間とのインタラクションを前提としたタスクの実行のためには柔軟な関節が必要であり、従来の産業用ロボットにみられる精密な制御よりも、振動子等の力学モデルを用いた模倣学習が有効であると考えられる。従来のこのような模倣学習における研究は、動作を分割する分節点を見つけることが重要であることが示されている。例えば、関節速度が0となる点を分節点として模倣学習を行う等の手法が提案されてきた[1]。

しかしソフトロボティクスに代表される柔軟関節を有するロボットが生成する動作は、一般に運動指令のみに対応するのではなく、指令値系列(ダイナミクス)に強く依存するため、従来の分節化手法では十分な近似が難しい。

本研究ではロボットによる視覚フィードバックから自己モデルを獲得し、神経力学モデルを利用することで、動作プリミティブを自己組織化することを目的とする。神経回路モデルの特性から、より人間に近い、人間との相互作用に適した動作の実現を目指す。

2. ソフトロボットの模倣学習システム

2.1 Actroid 制御の課題

実験には株式会社ココロの開発したヒューマノイドロボット Actroid を使用した(図1)。全身で合計 24 の関節を持ち、それらは空気圧アクチュエーターにより柔軟かつダイナミックな動作を生成できる。本実験では両腕に着目するため、両腕の肩・肘・手首の6次元を使用した。



図1 柔軟関節を持つ人間型ロボット: Actroid

2.2 神経力学モデル:MTRNN

学習には、神経力学モデルである MTRNN (Multiple Timescale Recurrent Neural Network) [2]を使用した。これは IO (input-output), Cf (context fast), Cs (context slow) 等の複数の時定数を持つニューロン群を組み合わせることにより、学習対象の力学特性のパラメータ表現、出力を実現するモデルである。このモデルを利用することで、従来、振動子等の特定の力学モデルによって表現されてきた[3]、ロボット動作を多様な力学パターンで表現できると期待される。

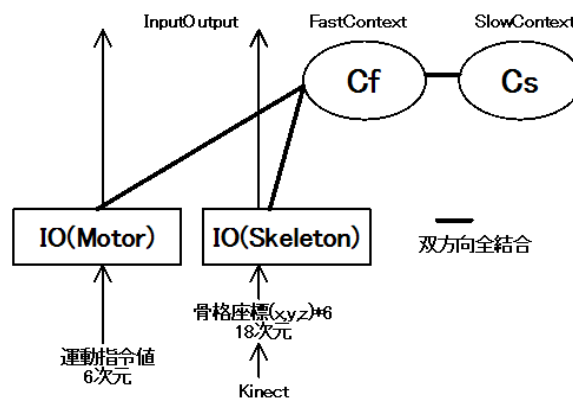


図2 神経回路 MTRNN による運動学習モデル

2.3 Kinect による模倣学習システム

本実験では、動作の教示者である人間及び Actroid 自身の動作の計測の為に、Kinect を利用し骨格座標を使用する。以下に模倣学習の手順を示す。

1. 身体図式の学習: 運動指令値及び Kinect で取

Imitation of dynamic motions by humanoid robot with elastic joints using neuro-dynamical system. Masayuki Tsubouchi (Kyoto Univ.), Shun Nishide (Kyoto Univ.), Harumitsu Nobuta (Kyoto Univ.), Hiroshi G. Okuno (Kyoto Univ.), and Tetsuya Ogata (Kvoto Univ.)

得した骨格座標を同時に MTRNN に入力し、運動指令と生成運動の力学モデルを学習する。

2. 模倣動作の生成: 対象動作を人間が提示し、Kinect で関節データに変換した後、MTRNN の連想機能を利用することで、その運動を実現するための運動指令値を生成させる。
3. 動作の評価: 生成させた運動指令値をロボットに実行させ、そのときの骨格座標を模倣対象の骨格座標を比較する。

3. 動作プリミティブ学習の予備実験

本手法の基本性能を確認する為に、人間動作及び Actroid を利用した予備実験を以下の様に行った。

3.1 人間動作の学習

図 3 に示す人間の 4 つの動作を Kinect で計測、MTRNN による内部パラメータ獲得の実験を行った。獲得された Cf ニューロンの発火状態を、PCA により 2次元に圧縮 (寄与率 64%) した結果を図 4 に示す。各プロットで、青は Parallel 動作 (頭部前の平行移動)、赤は Horizon 動作 (動態前の円弧軌道)、黒は Loop 動作 (下から上への円弧軌道) を表す。



Parallel 動作 Horizon 動作 Loop 動作
図 3 人間による提示動作

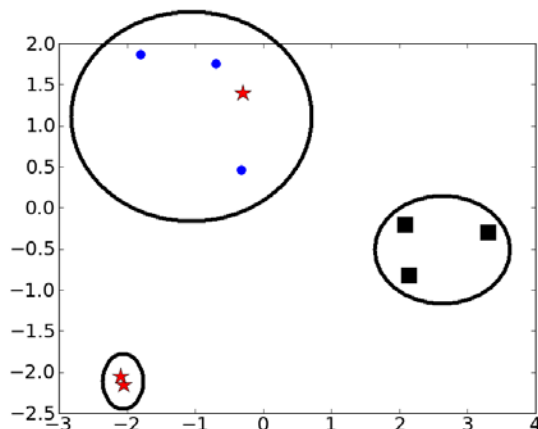


図 4 人間提示動作の MTRNN による提示結果
各プロットで、青は Parallel 動作、赤は Horizon 動作、黒は Loop 動作を表す。

図 4 から概ね動作を表現できていることが確認できる。ここで Parallel 動作クラスター (青) に Horizon 動作 (赤) が 1 データ紛れ込んでいる。設

定した Parallel 動作は一貫して右から左であるが、Horizon 動作は左から右と右から左の繰り返し動作である。そのため MTRNN が動作方向に関するクラスターを自己組織化した結果だと考えられる。

3.2 Actroid の動作学習

Actroid の動作を Kinect により計測、学習を行った。実験風景を図 5 に示す。ここで Actroid は、MTRNN の出力を online でモータ出力とした動作を行う。MTRNN は初期重み状態では、スパース結合の RNN と同様となり、その出力はカオス表現となる。

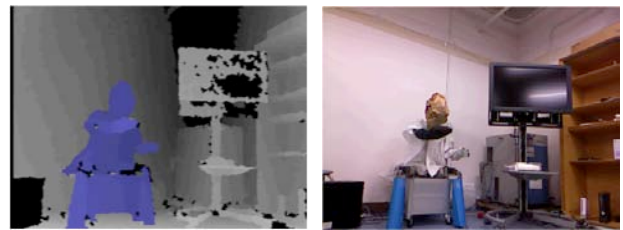


図 5 Actroid 動作の Kinect による計測

獲得された MTRNN の内部表現を解析したところ、類似動作が分類されてクラスタリングされている傾向が確認でき、本手法による動作模倣の可能性が示唆された。

4. まとめ

本稿では、ソフトロボットの神経力学モデルを用いた制御手法の確立を目的として、多様な力学系を表現可能な、階層型の再帰結合神経回路モデル (MTRNN) を、空気圧アクチュエータを用いた Actroid に導入した。まず MTRNN によるカオス出力で全身を駆動 (バブリング) しつつそれを Kinect で計測し、神経活動と動作の動的データを得る。これを MTRNN に学習させた結果、単純な動作プリミティブが自己組織化されることが示唆された。

謝辞 本研究の一部は JST さきがけ、科研費基盤 (B)、科研費学術創成の支援を受けた。

参考文献

- [1] Takaaki Shiratori, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Detecting Dance Motion Structure through Music Analysis," Proc. of 2004 IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG2004), 2004.
- [2] Y. Yamashita and J. Tani, Emergence of Functional Hierarchy in a Multiple Timescale Neural Network Model: a Humanoid Robot Experiment, PLoS Comput. Biol, vol.4, no.11, 2008.
- [3] S. Schaal, J. Peters, J. Nakanishi, and A. Ijspeert, "Learning Movement Primitives," in International Symposium on Robotics Research (ISRR2003), Springer Tracts in Advanced. Robotics. Ciena, Italy: Springer, 2004.