

身体バブリングによる事前学習を用いた柔軟関節ロボットの効果的な動作生成

山田 浩貴† 高橋 城志‡ 尾形 哲也‡ チャンドラ ハディ‡ 菅野 重樹‡
 † 早稲田大学創造理工学部総合機械工学科 ‡ 早稲田大学理工学術院

1 はじめに

ダイナミックな動作や人間との接触安全の観点から柔軟関節ロボットに注目が集まっている。このようなロボットは柔らかさを利用した動作や、接触時に複雑な制御を行うことなくインタラクションを可能とする。多自由度で冗長自由度な柔軟関節を持つロボットは動作パターンが無数に存在し、制御モデルが複雑なためダイナミックな動作をさせることは困難である。本研究では機械学習時に再帰結合型神経回路モデルの適用することを考えている。

従来の研究では動作の軌道を神経振動子やアトラクタ [1] で人間が設計する方法が一般的だった。しかしこの方法では設計者の意図しない環境変化や外乱に対応することが難しい。初めに乳幼児の動作学習方法を参考に身体バブリングによってランダムな動作を再帰結合型神経回路モデルで学習する。この時獲得した身体モデルを基に目的とするタスクの動作の学習をさせることで、人間による事前設計を必要としない方法を用いた。

2 事前学習による身体モデルの獲得

乳幼児は動作を行う際、動作と感覚の関係性を持っていないため、目的とする動作を行うことができない。様々な動作を行うことでそれらの関係性である身体モデルを徐々に獲得し、身体モデルを用いることで様々な動作を実現できるようになる。

従来の方法ではタスクの動作と身体モデルを同時に獲得させていた [2]。本研究では乳幼児が身体モデルを獲得していく過程を事前学習として学習させる。身体モデルを用いることで冗長自由度から発生する不自然な体勢やありえない動作の学習が減るためにロボットが可能な動作パターンを絞ることができるため、追加学習させるタスクを速やかに学習ができると考えられる。

機械学習に用いる再帰結合型神経回路モデルとして Continuous-time Recurrent Neural Network(CTRNN)[3]を用いる。CTRNNには時系列のあるデータの学習が可能で、Input Output(IO)層、Context(C)層という2つの層からなっている。感覚運動データをCTRNNに学習をさせる際、Cの初期値であるC(0)空間が生成される。この空間内の値を用いることで学習した動作を再

現することができる。そのため学習した動作からロボットの身体モデルを獲得することができ、現在の状態から次の状態を予測・生成することができるため動作の探索に時間がかからない。

3 ロボットシミュレータによる実験

3.1 評価方法

ロボット技術の応用においては、クランク回し [4] のような単純な機構とロボットボディの相互作用を考慮する必要がある。従来、通常の制御機構を用いる場合、精確なキネマティクスの知識や膨大な内部力が必要とされる [5]。本研究では、単純な機構の学習能力を評価するために一般的なタスクとしてクランク回しを設定した。

3.2 実験設定

実験はロボットシミュレータである OpenHRP3 上のロボットモデルによって行われた。ロボットモデルはアクトロイド [6] を参考に作成した。ロボットモデルのアームは3自由度の柔軟関節となっている。PD制御を用いた柔軟関節の式は以下の通りである。このモデルを用いて動作生成した。

$$\tau_s = (\theta_d - \theta)Pgain + (\dot{\theta}_d - \dot{\theta})Dgain + d(\ddot{\theta} - \ddot{\theta}_d) + k(\theta - \theta_d) + \tau_f \quad (1)$$

τ_s : 発揮されるトルク, θ : 現在の関節角度, θ_d : 目標関節角度, d : 減衰係数, k : ばね定数, τ_f : 摩擦

3.3 身体バブリング

身体モデルを獲得するために、目的とするタスク学習の事前学習として150回の身体バブリングを水平面上で行った。身体バブリングでは柔軟身体による自然な動作を利用した学習を行う。具体的には、動作しているランダムな初期状態から目標とする関節角度をランダムに与え、動作を3秒取得し、これを身体バブリングとして使用した。取得したデータは各関節の角度、トルク、角速度である。取得したデータと各関節角度から運動学を用いて算出した手先位置座標をCTRNNの入力とした。

3.4 タスクの動作

同様のモデルを用いてクランク回しのタスクを行った。半径0.15mのクランクモデルを作成し、ロボットアームの手先とクランクのハンドルを接続し、クランクを回転させた。Fig.1は作成したロボットとクランクのモデルである。時間は120秒で約3回転するモーショ

Effective Motion Learning of a Flexible Joint Robot with Pre-training of Motor Babbling
 Hiroki Yamada(Waseda Univ.), Kuniyuki Takahashi(Waseda Univ.), Tetsuya Ogata(Waseda Univ.), Hadi Tjandra(Waseda Univ.), Shigeki Sugano(Waseda Univ.)

ンを生成した。この時取得したデータは身体バブリングの時と同様に各関節の角度，トルク，角速度，手先位置座標である。

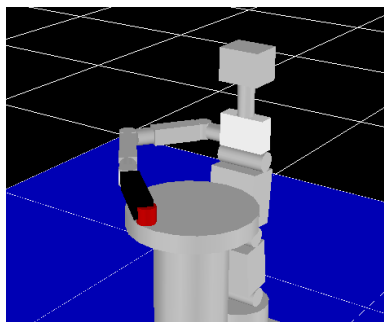


Figure 1: Robot & crank model

3.5 実験結果

身体バブリングを行った後にタスクの学習を行った場合と，タスクの学習のみを行った場合をそれぞれ比較した。学習回数に対して，関節角度の学習エラーがどのように落ちるかを表したものが Fig.2 である。身体バブリングをすることによって学習エラーが速く収束していることが分かる。学習前の状態の乱数を変えることで9パターンにおいて，円軌道が生成できる関節角度の学習エラーが落ちた回数を取得し，これらの平均学習回数と標準偏差 Fig.3 で表した。事前学習を行った場合，学習エラーが平均 40 % 少ない回数で収束することが確認できた。身体バブリングを行った場合，収束する学習回数の分散が大きくなった。この理由としては学習前の状態を乱数で与えているため，追加で学習させたことにより変動した初期状態の影響が大きくなったからだと考えられる。

以上より身体バブリングを行うことでクランク回しを速やかに学習できたことが確認できた。

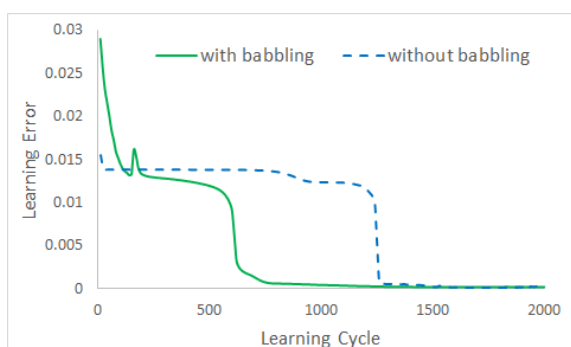


Figure 2: Learning Error

4 まとめと今後の展望

本研究では身体バブリングによる事前学習を用いた柔軟関節ロボットの効果的な動作生成について述べた。

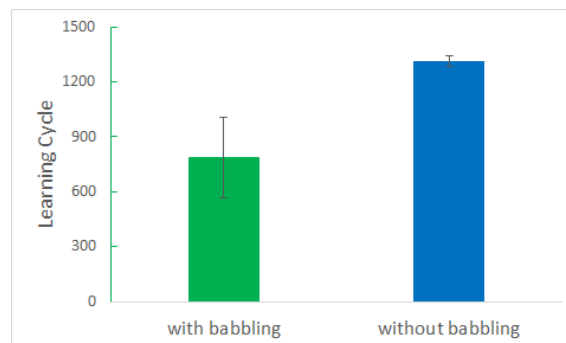


Figure 3: Learning Error(Average \pm S.D.)

柔軟関節ロボットは身体モデルの獲得が困難なため，人間による事前設計を行わない CTRNN を用いて動作を学習させた。タスクの動作の学習の前に事前学習として身体バブリングを行い，先に身体モデルを獲得した。先に身体モデルを獲得することで，想定されたタスクを速やかに学習することが確認できた。

今後の展望として，複数タスクに対し事前に獲得した身体モデルを用いること，身体モデルを獲得するための効果的な身体バブリングの動作を検証することでより少ない動作数での学習を目標とする。

謝辞

本研究成果の一部は，文部科学省科研費基盤研究(S)(No. 25220005)，文部科学省科研費新学術領域研究「構成論的発達科学」(No. 24119003)，文部科学省「卓越した大学院拠点形成支援補助金」，JST さきがけ領域「情報環境と人」，早稲田大学理工研プロジェクト研究「自然と共生する知能情報機械系に関する基盤研究」，文部科学省博士課程教育リーディングプログラム「実体情報学博士プログラム」の支援を受けたものです。ここに謝意を表します。

References

- [1] A. J. Ijspeert et al., "Movement imitation with non-linear dynamical systems in humanoid robots," IEEE international Conference on Robotics and Automation, 2002
- [2] K. Takahashi et al., "Tool-body Assimilation Model Based on Body Babbling and Neuro-dynamical System," Mathematical Problem in Engineering, Article ID 837540, accepted, August, 2014
- [3] K. Doya et al., "Adaptive neural oscillator using continuous-time back-propagation learning," Neural Networks 2(5):375-385, 1989
- [4] M. M. Willoamson et al., "Oscillators and Crank-Turning: Exploiting Natural Dynamics with a Humanoid Robot Arm," Phil. Trans. R. Soc. Lond. A:2207-2223, 2003
- [5] G. Niemeyer et al., "A Simple Strategy for Opening an Unknown Door," IEEE international Conference on Robotics and Automation, 1997
- [6] ココロ, "ロボット特注製作: アクトロイド," 2014年1月10日, http://www.kokoro-dreams.co.jp/rt_tokutyu/actroid.html