

モーターバブリングと神経回路モデルを用いた道具身体化

～複数道具把持動作による身体遷移過程の学習と生成～

金 紀泰† 高橋 城志‡† Tjandra Hadi† 尾形 哲也† 菅野 重樹†

† 早稲田大学理工学術院

‡ 日本学術振興会特別研究員

1 はじめに

人間は道具を使用することで作業内容を拡張することができる。ロボットが人間の生活環境でより活躍するためには、未知な道具でも扱えることが期待される。従来研究では道具や環境を事前に設計することで、ロボットに道具を使用させていた [1][2]。これらのモデルでは未知の道具を使用することには限界があった。未知な道具を扱うために、ロボット自身の経験から道具の使用方法を獲得させる必要がある。そのため、神経回路モデルを用いた道具身体化モデルの研究を行ってきた [3]。道具身体化は人間が道具を使用する際、身体感覚が道具の先まで知覚される現象である [4]。道具身体化モデルは、乳幼児の動作を参考にしたモーターバブリングを Recurrent Neural Network (RNN) と Deep Neural Network (DNN) で学習を行うことで、身体モデルの獲得を行う。その後、身体変調モジュールである Parametric Bias(PB) Node で道具に合わせて身体モデルを変調した。しかし、提案したモデルではロボットが道具を把持した状態で動作を開始したため、道具を把持対象で扱った経験しか獲得していなかった。道具を操作対象と把持対象として扱う状況の経験がないため、身体モデルから道具身体化モデルへの遷移を考慮することはできなかった。本研究では道具身体化モデルを拡張し、物体を操作対象(物体)から把持対象(道具)への身体モデルの遷移過程を考慮した道具身体化モデルを提案する。

2 身体遷移過程を考慮した道具身体化モデル

本研究で提案する身体遷移過程を考慮した道具身体化モデルを図1に示す。本モデルは3つのモジュールから構成されている。(1)DNNにより、生画像から画像特徴量を抽出する画像特徴量モジュール、(2)Multiple Timescales RNN(MTRNN)により、関節角度と画像特徴量の関係性を学習する身体モデルモジュール、(3)Context Nodeにより、把持状態及び道具の機能に合わせて時系列に身体モデルを変調する身体変調モジュールである。

2.1 道具身体化モデルの概要

道具身体化モデルは最初に身体モデルを獲得するため操作物体が置かれてある状態でモーターバブリング

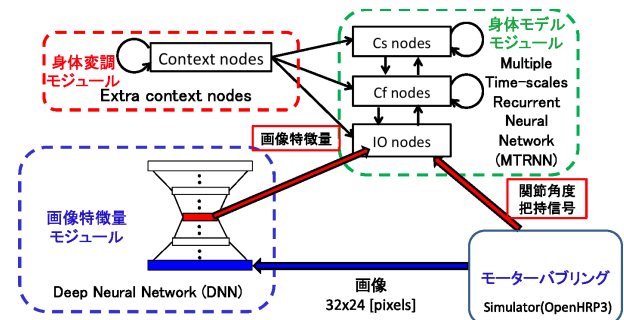


図1: 身体遷移過程を考慮した道具身体化モデル

を行う。身体モデルの獲得後、道具を把持するモーターバブリングを行い、動作から得られた経験を用いて身体変調モジュールを学習させる。身体変調モジュールにより、身体モデルを道具使用に合わせて変調することで、道具身体化を実現する。モーターバブリングから獲得した画像を DNN Auto-encoder を用いて画像特徴量の抽出を行う。Auto-encoder は、教師なし学習によって未知の道具画像も特徴量として表現することが可能である。モーターバブリングから獲得した運動情報とモーターバブリングから獲得し DNN より抽出した画像特徴量の関係性を、ロボットの身体モデルとして MTRNN で学習する。MTRNN は現在の状態から次の状態を予測・生成する生成器であり、異なる時定数のコンテキストを持つ。Cf は動作のプリミティブ、Cs は動作プリミティブの時系列を学習することで、動作のダイナミクスを獲得することができる。身体モデルを獲得した後、道具を把持するモーターバブリングから獲得した運動情報と画像特徴量を用いて、Context Node に道具の機能及び把持状態を獲得させる。Context Node は再帰結合と有限な時定数を持っているため時系列に変化する情報を学習することが可能である。

2.2 身体遷移過程のモデル化

従来の道具身体化モデルの身体変調モジュールでは道具を把持した状態で動作を開始し、道具の機能を表現することが目的であったため、時間に不変な PB Node を利用した [3]。本研究で提案する道具身体化モデルは道具の把持過程を考慮する。道具の把持過程で起こるダイナミクスの分岐を捉えるため時系列情報が獲得可能な Context Node を利用し、身体変調モジュールとして扱う。Context Node を利用することによって、把持場所による道具の機能の違い、道具を把持するか操作するかによる把持の判断や道具との接触タイミングも考慮した情報が学習可能となる。

Tool-body Assimilation Model Based on Motor Babbling and Neuro-dynamical System
 ~ Body Model Transition and Motion Generation with Multi-tool Handling ~
 Kitae Kim(Waseda Univ.), Kuniyuki Takahashi(Waseda Univ.), Hadi Tjandra(Waseda Univ.), Tetsuya Ogata(Waseda Univ.), Shigeki Sugano(Waseda Univ.)

3 ロボットシミュレータによる評価実験

3.1 実験設定

評価実験として、シミュレーション上でヒューマノイドロボットであるアクトロイドを模擬したモデルを作成し、道具を使用した物体操作タスクを行わせた。このロボットは3自由度の右腕で二次元平面上を動作するようにロボットシミュレータ OpenHRP3 で実装した。モーターバブリングを行う際、道具はI字・T字の2種類、物体の初期位置を4種類、の合計8つの初期条件で行った。それらに対して、身体と道具が異なる場所で接触する16セットの動作を用意し、接触時に把持するかしないかの2種類を用意することで、合計256セットの動作を行わせた。各動作を6秒間行わせ、動作中に関節角度・画像・把持信号をサンプリングタイム0.2秒で取得する。画像は32x24のグレースケール画像をDNNに学習させ、15次元を特徴量として自己組織化させた。関節角度3次元、画像特徴量15次元、把持信号1次元をMTRNNで学習させた。汎化性能の試験として未学習のL字道具を用い動作生成をした。

3.2 実験結果

ロボットに画像・関節角度・把持信号の初期状態と目標状態の画像・把持信号を与え、初期状態と目標状態の間をMTRNNで予測・生成させた。その際使用した身体モデルモジュールのCsを主成分分析したグラフを図2に示す。図2の身体モデルモジュールの初期状態は把持位置の情報(色ごとに把持位置が異なる)が表現される。初期状態では身体変調モジュールの影響はないため、把持信号の変化の判断ができないことによりO・X(把持の有無)は重なって色でクラスタができています。ロボットが図2の初期状態下部にある4つの把持位置を学習したため4つの色でクラスタができています。また、身体モデルモジュールの最終状態では身体変調モジュールの影響よりO・Xで分かれていることから動作の過程で身体の遷移が起きていると言える。また、未知の道具であるL字を用い初期状態の情報と目標状態の画像と把持信号を与え、動作生成した結果を図3に表す。その結果、未知の道具の機能と把持を考慮した動作生成が可能なが確認出来た。

4 まとめと今後の展望

本研究では把持状態を考慮した道具身体化モデルの身体遷移過程を提案した。ロボットは道具を操作と把持対象としての経験を得るため、道具と接触時把持あり・なしといった二つの条件下でモーターバブリングを行い学習を行った。結果として、ロボットに初期状態と目標状態を見せた時、ロボットが目標状態を再現するために動作を生成している際、身体表現が把持位置から把持状態へと遷移が確認できた。

今後の展望として、複雑な形をした未学習道具を検証することで、汎化能力の評価を行う。

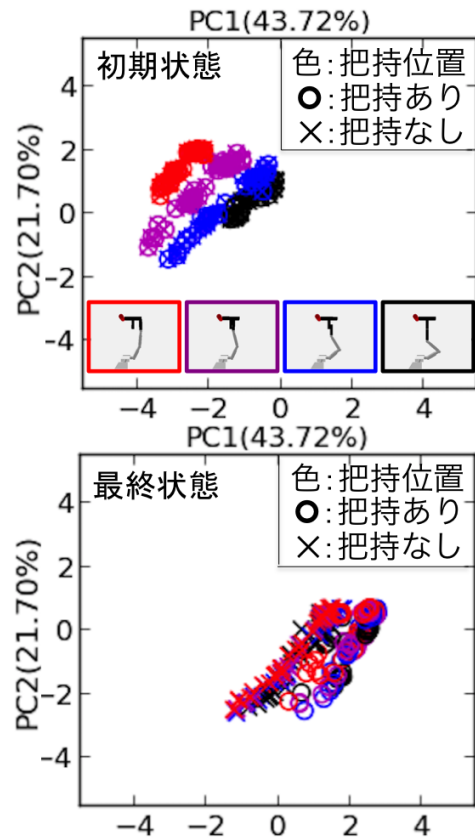


図2: 身体モデルモジュールの変化

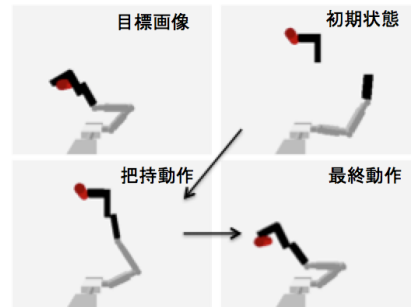


図3: 未知道具の動作生成

謝辞

本研究成果の一部は、JSPS 科研費 15J12683、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」、文部科学省科研費基盤研究(S)(No. 25220005)、文部科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」、文科省科研費基盤研究(A)(No. 15H01710)、新学術領域研究「構成論的発達科学」(No. 24119003)の支援を受けたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] A. Stoytchev, " Behavior-grounded representation of tool affordances, " IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3060-3065, 2005.
- [2] V. Tikhonoff, U. Pattacini, L. Natale, G. Metta, " Exploring affordances and tool use on the iCub, " IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 130-137, 2013.
- [3] K. Takahashi, T. Ogata, H. Tjandra, Y. Yamaguchi, S. Sugano, " Tool-body assimilation model based on body babbling and neurodynamical system, " Mathematical Problems in Engineering, ID 837540, 2014.
- [4] 入来篤史, " 道具を使うサル, " 医学書院, 2004