

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：16101
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2013～2015
課題番号：25730159
研究課題名(和文) スパース結合再帰神経回路モデルを用いたロボットによる道具身体化モデルの構築

研究課題名(英文) Creation of Robot's Tool-Body Assimilation Model Using Sparse Recurrent Neural Network

研究代表者
西出 俊(Nishide, Shun)
徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号：30613400
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では神経回路モデルの一種であるMultiple Timescales Recurrent Neural Network (MTRNN)をロボットの行動学習に応用することを目的とし、モデルのスパース化による学習性能の向上を評価した。実験の結果、MTRNNのスパース化によって多少の性能向上は確認でき、行動学習の一例としてロボットの自己身体学習と発達の描画模倣学習モデルへと展開した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we investigated the effectiveness of sparse connections using Multiple Timescales Recurrent Neural Network (MTRNN), for applying to robot's motion learning. From experiments with nine types of human motions, sparse networks were confirmed to achieve better training results, compared to full-connected networks. As examples of motion learning, we created models for robot's self body learning and developmental imitation drawing learning model.

研究分野：認知発達ロボティクス

キーワード：再帰結合神経回路モデル ロボット スパース結合

1. 研究開始当初の背景

近年、環境とのインタラクションに基づく知識・行為の獲得を目標とした研究が盛んに行われている。道具のアフォーダンスに基づく道具使用動作の獲得やロボットの能動近くに基づく物体識別の研究などが例として挙げられる。これらの研究では人間や生物の物体認知をもとに学習モデルを構築しているが、物体を表現する特徴量が事前に設計されていたため、想定外の物体には適応が困難であるという課題がある。

これまでの研究ではロボットの行動経験から物体特徴量を自己組織的に獲得し、未知物体にも適応的に知覚・行動生成が可能なモデルを構築してきた。本研究ではスパースなモデルによる学習効率・性能向上を目指し、他の行動学習への応用を目的とする。

2. 研究の目的

これまでの研究では神経回路モデルの一種である Recurrent Neural Network (RNN) を用いてロボットの物体操作行動の学習を行ってきた。本研究では本モデルをロボットの他の行動学習に応用することを目的とし、RNN の構造をスパース化することによる学習性能向上を目指す。

本研究では Multiple Timescales Recurrent Neural Network (MTRNN) を用いてシステムを構築する。MTRNN のノード間の接続をスパース化したモデルの学習性能を評価し、ロボットの行動学習に応用する。

3. 研究の方法

本研究ではまず MTRNN のノード間の接続をランダムに切断し、構築したスパースな神経回路モデルの学習性能を評価した。具体的にはノード間の接続を 10%, 20%, ..., 90% 除去したものと全結合 MTRNN を学習した際の学習誤差を比較した。学習するデータは人物の行動 9 種類 (足踏み・バンザイ・踊り・蹴り・パンチ・四股・スクワット・投げる・前屈) 用い、数種類の MTRNN のノード構成で学習と認識実験を行った。ノード構成と学習性能の関係性について評価した。

MTRNN の学習実験の応用として、ロボットの自己身体学習、道具使用動作学習における学習性能を評価した。

自己身体学習においては、MTRNN に対して予測誤差に基づく優先度学習手法を開発し、ロボットと外部物体が存在する環境で優先的にロボットの腕ダイナミクスを学習する手法を開発した。本手法では MTRNN の出力誤差の変化率にソフトマックス関数を適用し、それを学習係数に積算した。これにより、学習過程で学習誤差を低下させることに貢献する対象を優先的に学習する効率的な学習手法を開発した。

ロボットの道具使用動作の学習においては、発達の描画学習を目的とした。具体的にはパブリングにおいて、学習に有効なデー

タをより多く得られるパブリング動作の生成方法を開発し、パブリング経験をもとに人間とロボットの発達の描画模倣学習を MTRNN によって構築した (図 1)。学習誤差が中間的な対象を追加学習することで MTRNN の発達の学習系を構築した。

以上のように、本研究ではモデルの構築・学習手法の開発に加え、ロボットの行動学習と、基礎と応用共に研究を進めてきた。

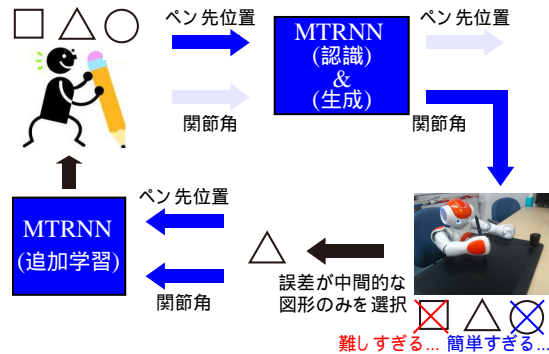


図 1 : 発達の描画模倣学習

4. 研究成果

MTRNN のスパース化に関する研究では、様々な MTRNN のコンテキストノード数、モデルのスパース度に対し、交差検定によってモデルの学習性能・汎化性能を評価した。MTRNN による学習により、9 種類の行動を分類することに成功した。また、7 種類または 8 種類の行動を学習した時は、未学習の行動を認識した際、学習した行動とは別の行動として認識されることを示した (学習データのクラスタとは別の未学習データのクラスタが形成された)。交差検定による実験の結果では、MTRNN のノード間の接続を 50% 前後切断する際に最もよい学習性能が得られることを示した。一方で、学習誤差は全結合の時と比べ、大きく減少したとはいえ、より効率のよい学習手法を開発することが課題である。

自己身体学習に関する実験では、開発した手法を用いることで、通常の Back Propagation Through Time による学習手法と比較し、より小さい学習誤差が得られる区間が存在することを確認した。また、様々な MTRNN 構成で提案手法を評価した結果、コンテキストノード数が少ない時は本手法の学習誤差が収束しない時もあったが、コンテキストノード数が多い時は通常の学習と比較し、有意に学習誤差が小さくなることを確認した。一方で、本学習手法は通常の学習手法に比べると誤差が増加と減少を繰り返すため、収束しなかった。これは学習対象間で優先度が切り替わるためであり、今後はより安定した学習手法を開発することが課題である。

ロボットの道具使用動作の学習では、MTRNN を用い、ランダム描画動作であるパブリング動作によるロボットの腕・描画ダイナミクスの関係性学習、さらに人間の描画模倣

による基本図形（円・正方形・三角形）の描画を獲得するモデルを構築した。人間が図形描画を教示する時、通常の描画模倣に加え、図形の角で止めを入れる描画も行った。本実験の結果、円については人間の描画発達と同様に右利きのロボットの場合、右回りの円の描画が左回りの円の描画よりもよい結果が得られた。左利きの場合は逆に左回りの円の描画の方がよい結果になり、身体性による描画性能の違いが出ることが確認できた。さらに、描画教示動作に止めを入れる方が正方形や三角形の描画性能が向上することを確認した。これは正方形や三角形を直線（プリミティブ）の組合せとして認識し、描画するためであると考えられる。今後はより高度な描画機能に展開していく予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Shun Nishide, Harumitsu Nobuta, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata, "Preferential Training of Neuro-Dynamical Model Based on Predictability of Target Dynamics," *Advanced Robotics*, 査読あり, Vol. 29, No. 9, pp. 587-596, 2015.
DOI:10.1080/01691864.2015.1031279

〔学会発表〕(計 12 件)

渡辺 寛大, 沼倉 彬雄, 西出 俊, 郷古 学, 金 天海, ロボットの描画運動のための効率的な身体バプリング, 日本ロボット学会第 33 回学術講演会, 2015 年 9 月 3 日 ~ 2015 年 9 月 5 日, 東京電機大学 (東京都・足立区)。

Kanta Watanabe, Akio Numakura, Shun Nishide, Manabu Gouko, and Chyon Hae Kim, "Efficient Body Babbling for Robot's Drawing Motion," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2015 年 8 月 2 日 ~ 2015 年 8 月 5 日, 北京 (中国)。

Shun Nishide, Harumitsu Nobuta, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata, "Applying Intrinsic Motivation for Visuomotor Learning of Robot Arm Motion," *International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, 2014 年 11 月 12 日 ~ 2014 年 11 月 15 日, クアラルンプール (マレーシア)。

西出 俊, 望月 敬太, 奥乃 博, 尾形 哲也, 人間の描画発達に基づくロボットの描画模倣学習モデルの構築, 日本ロボット学会第 32 回学術講演会, 2014 年 9 月 4 日 ~ 2014 年 9 月 6 日, 九州産業大学 (福岡県・福岡市)。

西牟田 勇哉, 吉井 和佳, 西出 俊, 糸山 克寿, 奥乃 博, 「早言い」合図を識別してインタラクションに活用するロボット司会者, 日本ロボット学会第 32 回学術講演会, 2014 年 9 月 4 日 ~ 2014 年 9 月 6 日, 九州産業大学 (福岡県・福岡市)。

Shun Nishide, Keita Mochizuki, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata, "Insertion of Pause in Drawing from Babbling for Robot's Developmental Imitation Learning," *IEEE International Conference on Robots and Automation*, 2014 年 5 月 31 日 ~ 2014 年 6 月 5 日, 香港 (中国)。

望月 敬太, 西出 俊, 奥乃 博, 尾形 哲也, ロボットによる描画運動発達モデルと起動の重み付き区間認識・学習を利用した精度向上, 情報処理学会第 76 回全国大会, 2014 年 3 月 11 日 ~ 2014 年 3 月 13 日, 東京電機大学 (東京都・足立区)。

Yuki Yamaguchi, Kuniaki Noda, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata, "Learning and Association of Synaesthesia Phenomenon using Deep Neural Network," *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 2013 年 12 月 15 日 ~ 2013 年 12 月 17 日, 国際会議場 (兵庫県・神戸市)。

Shun Nishide, "Object Feature Extraction and Tool Using for Robots with Recurrent Neural Network Model," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics*, 2013 年 11 月 7 日, ビッグサイト (東京都・江東区)。

Keita Mochizuki, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, and Tetsuya Ogata, "Developmental Human-Robot Imitation Learning of Drawing with a Neuro Dynamical System," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2013 年 10 月 13 日 ~ 2013 年 10 月 16 日, マンチェスター (イギリス)。

西出 俊, 奥乃 博, 尾形 哲也, スパース再帰神経回路モデルによる人物の行動学習, 日本ロボット学会第 31 回学術講演会, 2013 年 9 月 4 日 ~ 2013 年 9 月 6 日, 首都大学東京 南大沢キャンパス (東京都・八王子市)。

望月 敬太, 西出 俊, 奥乃 博, 尾形 哲也, 停止動作を活用した描画運動におけるロボットの発達の模倣学習, 2013 年 9 月 4 日 ~ 2013 年 9 月 6 日, 首都大学東京 南大沢キャンパス (東京都・八王子市)。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西出 俊 (NISHIDE, Shun)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・講師
研究者番号：30613400