

アームロボットのための発達的な描画学習モデルの 基盤システム構築

安村 亮祐[†][†] 徳島大学 工学部西出 俊[‡][‡] 徳島大学 大学院社会産業理工学研究部康 鑫[‡]任 福継[‡]

1. はじめに

ロボットが人間社会で活躍するうえで、環境との相互作用の中から自律的に学習し認知機能を獲得するロボットの開発が重要である。中でも人間の認知機構をもとにロボットを作ることを目指した認知発達ロボティクス分野が注目されており、本研究では特に描画発達を研究対象としている。我々はこれまで、ヒューマノイドロボット NAO の腕 2 自由度を用いた平面的な描画動作に基づくモデルの構築を行ってきた [1]。一方、人間の腕はより多くの自由度を有しており、[1] の実験は人間の腕構造を反映しているとはいえない。本稿では、描画発達モデルを 6 自由度のアームロボットに実装し、その基盤となる模倣描画システムについて報告する。

2. 5 段階の描画発達過程

人間の描画発達は 5 段階に分かれると Luquet は提唱している [2]。

- (1) なぐり描き (1-3yrs)
- (2) 偶然の写実性 (2-4yrs)
- (3) 出来損ないの写実性 (3-7yrs)
- (4) 知的写実性 (4-8yrs)
- (5) 視覚的写実性 (8+yrs)

(1) では、意味のない図形を描画する段階で身体感覚と描かれる図形との関係性を学習する。(2) では、自分が書いた図形と実世界の物体との類似点を発見し、模倣への意欲が高まる。(3) では、物体を模倣描画しようとするが、身体能力が追い付かず、正確な描画模倣ができない。(4) では、イメージした物体を描画で表現することが可能となり得る。(5) では、見た物体をそのまま描画することができるようになる。本稿では描画発達の基盤システムとして、(1) なぐり描きから (3) 偶然の写実性までを対象としている。なお、(2) 偶然の写実性は (3) 出来損ないの写実性を誘発する段階と捉え、モデル構築の際は省略する。

3. Multiple Timescale Recurrent Neural Network (MTRNN)

本研究では、神経回路モデルの一種である MTRNN[3] を学習モデルとして使用する。次節で MTRNN の構成と各機能について述べる。

3.1 MTRNN の構成

MTRNN は、現時刻の状態 $IO(t)$ を入力することで、次状態 $IO(t+1)$ を出力する予測器であり、複数の非線形時系列データを同時に学習可能なモデルである。入出力 (IO) 層と Fast Context (C_f) 層と Slow Context (C_s) 層から成るコンテキスト層によって構成され、各層のニュー

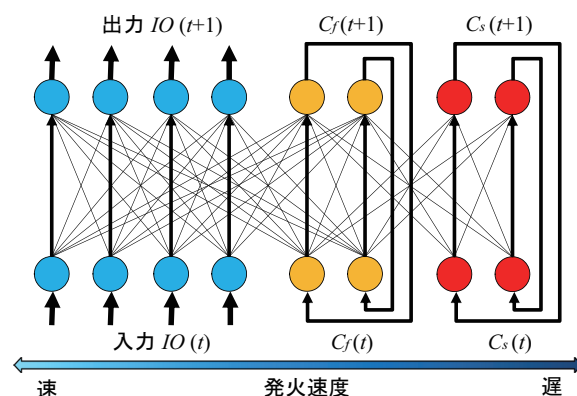


図 1: MTRNN の構成

ロン群は時定数と呼ばれるパラメータによって発火速度が制御される。時定数の値が大きければニューロンの発火速度が遅くなり、時定数の値が小さければニューロンの発火速度は速くなる。本モデルでは、入出力層の時定数が最も小さく、 C_f 層・ C_s 層の順に時定数が大きくなるように時定数を設定している。これによって、 C_f 層と C_s 層で階層的に異なるレベルの情報を学習することが可能となっている。MTRNN の構成を図 1 に示す。

3.2 MTRNN による学習・認識・生成

MTRNN には学習・認識・生成の 3 つの基本機能が存在する。学習では MTRNN の IO 層に教師時系列データを与え、Back Propagation Through Time(BPTT) を用いて、ニューロン間の結合重みと C_s の初期値 $C_s(0)$ を更新する。認識では、学習済み MTRNN の IO 層に認識すべき時系列データを入力し、BPTT を用いて $C_s(0)$ のみを更新することで時系列データを表現する $C_s(0)$ を計算する。生成では、 $C_s(0)$ を C_s ノードにセットし、MTRNN の前向き計算によって $C_s(0)$ が表現する時系列データを生成する。本研究ではこれら 3 つの基本機能を使用して描画発達モデルを構築する。

4. 描画発達モデルの基盤構築と実験設定

本実験では、6 自由度からなるアームロボットを用いた液晶タブレットへの描画を行う。アームロボットによる描画の様子を図 2 に示す。

本稿では描画発達モデルの基盤として、以下の手順でロボットの描画発達モデルを構築する。

1. 身体バブリング動作時に取得した関節角系列、ペン先座標系列をもとに MTRNN の学習を行う。
2. 被験者である人間が描画した図形のペン先座標系列を MTRNN で認識し、 $C_s(0)$ を求める。
3. 2. で求めた $C_s(0)$ を MTRNN に入力することで関節角系列を生成する。

5 段階の描画発達において、1. は (1) なぐり描きに、2. と 3. は (3) 出来損ないの写実性に対応する。

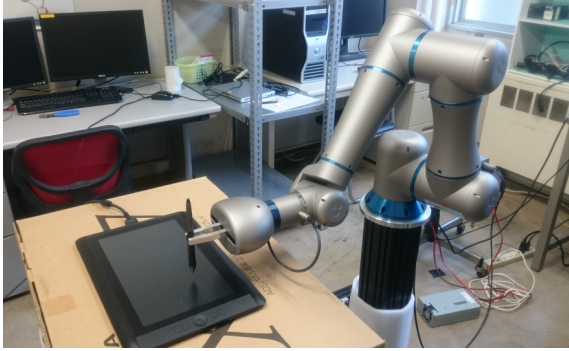


図2: アームロボットによる描画の様子

1. の身体バブリング動作では、液晶タブレット上のランダムな点をペン先が通るようにアームロボットに描画させる。描画時、ペン先座標系列と関節角系列を 10fps で取得し、 $[0.1, 0.9]$ に正規化した。ステップ数 54、データ数が 60 に分割したデータを学習データとし、MTRNN で学習した。実験で用いた MTRNN の構成は、入出力層が 8 個（関節角の 6 個とペン先座標 (x, y) の 2 個）、 C_f 層は 60 個、 C_s 層は 10 個とした。時定数は、入出力層は 2、 C_f 層は 5、 C_s 層は 70 とした。

2. の被験者の描画図形として、正方形の各頂点から時計回りと反時計回りに 1 回ずつ描画した合計 8 個の図形のペン先座標系列を使用した。データの取得間隔は身体バブリングの学習データと同様に 10fps とした。MTRNN の認識と生成を通して得られる関節角系列をアームロボットに入力し動作させることで正方形の描画模倣を行う。

5. 実験結果

被験者が提示した正方形とアームロボットが模倣描画した正方形を図 3 に示す。

実験の結果、(a)(e)(h) の模倣図形からある程度の模倣描画が可能であることが確認できた。一方、(b)(c)(d) の模倣図形から描画の開始位置が大きく異なる図形や教示図形から大きく離れて描画されている区間があるなど、模倣描画精度が低い図形が生成されることも確認した。(f)(g) の結果では、描画途中に液晶タブレットからペンが大きく離れてしまい、正しく座標を取得できなかった。

身体バブリングのペン先座標系列と被験者が描画した正方形のペン先座標系列の比較を行った結果、2 つの軌跡が比較的重なっている描画区間においては、ある程度の模倣が可能であることが確認できた。一方、2 つの軌跡の重なりがない描画区間においては、その区間を避けて描画されていることが確認できた。

6. 考察

本実験の結果を身体バブリングと模倣描画の関係性と模倣描画精度の向上の 2 点から考察する。

6.1 身体バブリングと模倣描画の関係性

MTRNN による身体バブリングの学習では、学習データに現れる動作に関しては身体運動ダイナミクスとその時の描画ダイナミクスとの関係性を学習するため、学習動作と同様の動作においてはペン先座標系列から関節角系列を生成することが可能であると考えられる。一方、学習データに現れない動作に関しては、ペン先座標系列から関節角系列の生成が困難になると考えられる。実験

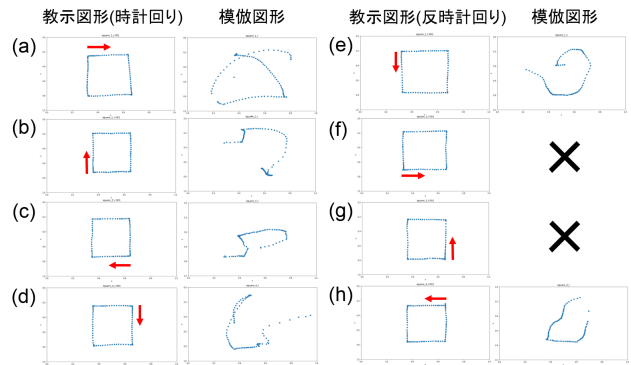


図3: アームロボットによる模倣描画結果 (a)(e), (b)(f), (c)(g), (d)(h) はそれぞれ正方形の左上, 左下, 右下, 右上から描画した教示図形と模倣図形。

結果から、身体バブリングのペン先座標系列と教示データの重なりがある区間においては模倣描画が行われていることから上記の身体バブリングと模倣学習の関係性が確認できる。

本実験の動作生成結果ではペンが液晶タブレットから離れることがあったが、これは使用したアームロボットが 6 自由度であることに起因する。これはバブリング動作に含まれないペン先座標系列を模倣する際、描画動作が不安定になり、ペンが液晶タブレットから離れたと考えられる。解決策として、2 次元の描画動作の学習に加え、高さを考慮した 3 次元の動作の学習もバブリング動作に含めることが挙げられる。

6.2 模倣描画精度の向上

実験結果より、アームロボットを用いてある程度の模倣描画が可能であることから提案する模倣描画システムの有効性について示せた。一方で、模倣描画の精度が低いことやペンが離れることによって描画ができない図形があるなどの問題点が残されている。描画模倣結果をもとに MTRNN の追加学習を実装することによってこれらの問題点を改善することが今後の課題である。

7. おわりに

本稿では 6 自由度のアームロボットを用いた模倣描画システムの構築について報告した。Luquet の 5 段階の描画発達をもとに、神経力学モデル MTRNN を用いて初期 3 段階を対象としたロボットの描画発達モデルを構築した。アームロボットを用いた実験の結果、ある程度の模倣描画が可能であることが確認できた。今後は、追加模倣学習を実装し、描画精度の向上を図る予定である。

謝辞

本研究は科学研究費補助金、若手研究 (A)(課題番号 16H05877) の支援を受けた。

参考文献

- [1] K. Mochizuki, S. Nishide, H. G. Okuno, and T. Ogata, "Developmental human-robot imitation learning of drawing with a neuro dynamical system," Proc. IEEE SMC, pp. 2336-2341, 2013.
- [2] G. H. Luquet, "Le Dessin Enfantin," 1927.
- [3] Y. Yamashita and J. Tani, "Emergence of Functional Hierarchy in a Multiple Timescale Recurrent Neural Network Model: a Humanoid Robot Experiment," PLoS Computational Biology, Vol. 4, No. 11, e1000220, 2008.