

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05877

研究課題名（和文）人間の描画獲得過程に基づくロボットの包括的な描画発達モデルの構築

研究課題名（英文）Construction of Comprehensive Robot Developmental Drawing Model Based on Human's Drawing Acquisition Process

研究代表者

西出 俊（NISHIDE, Shun）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・講師

研究者番号：30613400

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では人間の描画行為の獲得過程をもとにロボットの描画発達モデルを開発した。主な成果としては神経回路モデルを用いたロボットの描画発達モデルの構築、同モデルを用いた人間の描画行為の学習とモデルによる描画系列の生成、階層的な学習手法の開発による描画系列学習の効率化が挙げられる。アームロボットを用いた実験環境を構築し、ランダム動作であるバブリング動作をもとに段階的に図形の描画方法を学習する基盤手法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、人工知能の発達と共にロボットが人間社会に導入されることが期待されている。複雑な人間環境の中でロボットが動作するためには人間による作りこみには限界があり、ロボットが自身の経験から適応的に動作を獲得することが重要である。本研究課題では人間の幼児の発達をもとにロボットがランダム動作から意味のある描画動作を獲得する手法を開発することを目的としており、本手法を一般動作に応用することで発達のロボットの実現に貢献すると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we focused on constructing a developmental robot drawing model based on human's acquisition of drawing actions. Some main contributions in this project include construction of a developmental robot drawing model using neural network model, learning and generation of human's drawing sequence using neural network model, and development of hierarchical learning method for efficient learning of drawing sequences. Using an arm robot as an experimental platform, we established a basis of a method to hierarchically learn drawing of shapes from random motions (babbling motions).

研究分野：知能ロボティクス、知覚情報処理

キーワード：認知発達ロボティクス 神経回路モデル 深層学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、人間の発達機構をもとにロボットの発達モデルを構築する認知発達ロボティクスが注目されている。認知発達ロボティクスの研究分野では人間の認知機構に基づいて発達の知能を持つロボットを構築すると共に、その解析をもとに人間の認知発達機構の解明を目標としている。本研究ではその一環として前者の目標に注目しており、人間の描画発達過程をもとにロボットの発達の描画獲得モデルを構築することを目標とする。

描画行為は複雑な認知構造とダイナミカルな動作生成が必要とされる高度な技能であるため、描画発達を研究対象にすることでロボットの他の行動発達モデルにも応用が可能であると期待される。また、人間の描画発達については多くの知見があり、ロボットの発達過程を構築する際に参考にすることが可能である。本研究では Luquet が提案する人間の 5 段階の描画発達モデルを用い、リカレントニューラルネットワークを用いてロボットの描画発達モデルを構築する。5 段階の描画発達はなぐり描き、偶然の写実性、出来損ないの写実性、知的写実性、視覚的写実性である。これらの 5 段階の描画発達過程を通じてロボット自身が描画技能を発達的に獲得することが本研究の目標である。

2. 研究の目的

本研究の目的は人間の描画発達過程をもとにロボットの描画発達モデルを構築することである。学習モデルを構築する際、人間が描画能力を獲得する上で重要とされる三つの側面である、発達の側面、認知的側面、社会的側面に注目する。

発達の側面では、本研究では Luquet の 5 段階の描画発達のうち、第 1 段階から第 3 段階までのなぐり描きから出来損ないの写実性を研究対象とする。第 1 段階のなぐり描きは、腕を適当に動かし特に意味のない絵を描く段階である。幼児はこのランダムな描画を通じて自己の身体感覚とペン先位置の関係を徐々に学習し、どのように腕を動かせば何が描けるかを学習する。第 2 段階の偶然の写実性では、自己が描いた図形と現実世界にあるものとの類似性を発見し、見たものを模写しようとする意欲が芽生える段階である。第 3 段階の出来損ないの写実性は自己が見たものを模写しようとするが、身体の発達が未熟なため運動能力が追い付かず、うまく模写できない段階である。これらの 3 つの段階に対し、ロボットのランダムな描画行動(なぐり描き)から人間の描画図形の模倣(偶然の写実性)を通じ、基本図形の描画発達(出来損ないの写実性)を実現することを目指す。

認知的側面では、Grossberg らが提案する AVITEWRITE モデルを導入する。AVITEWRITE モデルでは視覚ベースの描画と記憶ベースの描画の二つによって描画行為が行われる。通常は記憶ベースによる描画が行われるが、学習経験がない対象や描画誤差が大きくなった場合は視覚ベース(視覚フィードバック)による描画に切り替わる。本モデルにおいても同様に記憶ベースの描画と視覚ベースの描画を切り替えることで描画発達機能を促進することを目指す。

社会的側面では、幼児の描画発達において親とのやり取りが重要であると発達心理学の分野でいわれている。その中でも乳幼児の学習における「足場づくり(scaffolding)」という現象が学習を促進させるといわれている。これは乳幼児の発達段階に応じてタスクの難易度を調節したり解決法を提示したりするなどし、乳幼児がより自身の意志や意図によって学習できるように徐々に支援していく養育者の関わりのことである。同様の現象はロボットの行動学習においても有効性が確認されており、モーショニーズと呼ばれている。本研究でも人間とロボットの描画発達模倣学習にモーショニーズを導入することで描画行為の学習を促進することを目指す。

上記の 3 側面をロボットの発達の描画学習モデルに導入することでランダム動作であるパブリック動作から基本図形の描画を獲得することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究では神経回路モデル Multiple Timescale Recurrent Neural Network (MTRNN)を用い、学習モデルを構築する。MTRNN は現状態から次状態を予測する予測器であり、階層的なコンテキスト層を持つことで学習データの情報を階層的に学習することが可能である。各層には時定数と呼ばれるパラメータが設定されており、その値の大きさによって発火速度が決定される。本モデルでは図 1 に示すように、入出力  $S$  をロボットのモータ値  $M$  とペン座標値  $P$  とし、ロボットの動作(モータ値系列)と描画結果(ペン座標値系列)の関係を学習する。各学習データ系列は Slow Context ( $C_S$ )の初期値である  $C_S(0)$ に自己組織化する形で学習される。

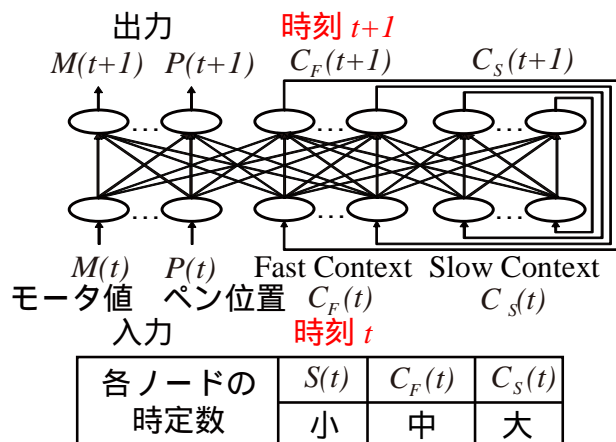


図 1: MTRNN の構造

発達の描画模倣学習モデルの全体図を図2に示す。まず MTRNN を学習するデータをロボットのランダム動作(なぐり描き)によって取得する。MTRNN の学習後、人間が描画図形を提示し、MTRNN を用いてペン座標系列からロボットの動作(関節角系列)を求め、模倣描画を行う。描画した図形に対して Intrinsic Motivation の知見をもとに誤差が中間的なデータを用い、MTRNN を再学習する。再度人間が図形描画を提示し、ロボットの模倣描画、再学習を繰り返し行う。

実験環境として、人間型ロボットである Nao とより高自由度な動作生成が可能な 6 自由度のアームロボットを用いた。研究目的で述べた認知的側面として AVITEWRITE モデルを導入したモデルや社会的側面としてモーショニーズ現象を導入した場合の提案手法の有効性を検証した。

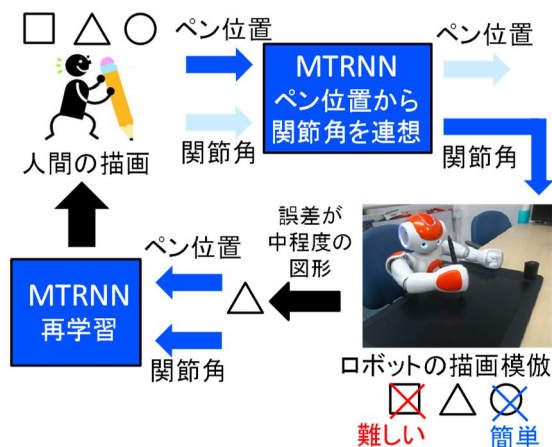


図 2：発達の描画模倣学習

#### 4. 研究成果

提案モデルの有効性を検証するため、まず研究目的における発達の側面に注目し、図2に示すモデルを構築し、描画模倣学習の基盤を構築した。これに対し、認知的側面と社会的側面を導入することで描画性能がどのように変化するか検証した。実験設定としてロボットにペンを把持させ、ペンの座標が取得可能な液晶ペンタブレットを用いた。バブリング動作(なぐり描き)としてペンタブレット平面上のランダムな目標値に腕を動かす動作を生成し、動作中の関節角値とペンの座標値を取得した。これらのデータ系列を用いて学習した MTRNN を図2における初期モデルとし、模倣描画実験を行った。

認知的側面として本研究で注目した AVITEWRITE モデルを導入し、ロボットによる模倣描画性能の評価を行った。実験では通常の模倣描画(図2)に加え、再学習の性能を向上した区間評価再学習手法、それから提案の AVITEWRITE モデルを導入した手法の3つのモデルを比較評価した。ロボットが描画した結果を図3に示す。本実験で用いた3つの基本図形のうち、円については大きな模倣描画性能向上は得られなかったが、正方形と三角形については全体的に提示図形により近い図形をロボットが描画することに成功した。円についてはバブリング動作に円弧動作が多かったため、通常の模倣でもある程度の模倣描画性能が得られた。一方、直線から構成される正方形や三角形には角があり、提案手法で再学習することでより描画性能が向上したと考えられる。提示図形とロボットが描画した図形の誤差を図4に示す。図4より通常の模倣描画に比べ、区間再学習の方が描画誤差が小さく、提案手法の方がさらに誤差が小さくなっていることが分かる。

社会的側面として本研究ではモーショニーズ現象に注目した。本研究ではランダム動作である円弧動作をもとにロボットの描画発達を行っており、正方形や三角形の角の描画が困難であることが分かった。そこでモーショニーズ現象の一環として、角の描画を向上するために人間が描画図形を提示する時に角で止めて提示することによる模倣描画性能向上を検証した。通常の描画模倣に加え、提示図形に止めを入れた場合の模倣描画結果、提示図形に止めを含めてある程度学習が進んだのちに止めをやめた場合の模倣描画結果の3通りについて実験を行った。円、正方形、三角形の模倣描画結果の一例を図5に示す。実験の結果、止めを導入することによって角の描画性能向上が見られたが、その後止めを入れずに図形を提示した場合、描画性能が低下する結果となった。

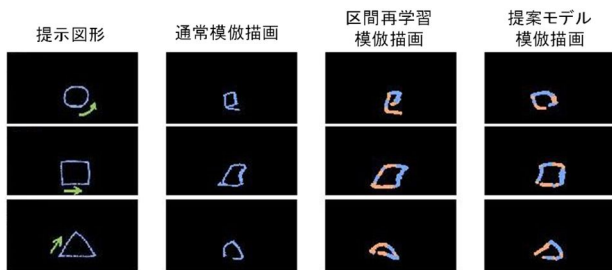


図 3：認知的側面導入による模倣描画

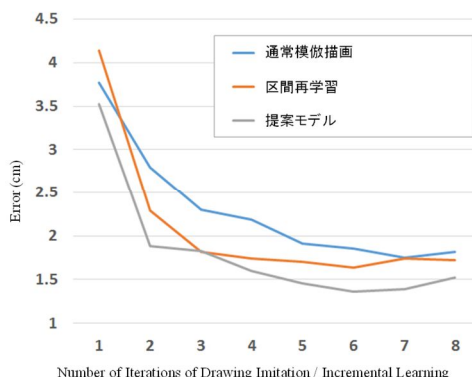


図 4：認知的側面導入による誤差評価

提案モデルと通常模倣による描画技能の比較を行うため、モデルの解析を行った。具体的には正方形（左上 左下 右下 右上 左上の描き順）を描画模倣する際の MTRNN の内部パラメータの変化を解析した。図 6 に解析結果を示す。図 6 の左図は提案手法による解析結果であり、右図は通常模倣による解析結果である。赤点、青点、緑点、黄点はそれぞれ正方形の左辺、下辺、右辺、上辺を描画する際のパラメータ値であり、青い実線はそれぞれのモデルで正方形を描画した際のパラメータの推移を表している。解析結果より、提案手法では正方形を描画する際、4 つの辺のパラメータの近辺をなぞる形で推移している一方、通常の模倣描画では直線の情報とは関係なく正方形を描画していることが分かる。この結果より提案手法では 4 つの辺をプリミティブとして正方形を認識していることが分かり、提案手法によって複雑な系列をプリミティブに分割して学習することが可能であることを示唆する結果となっている。

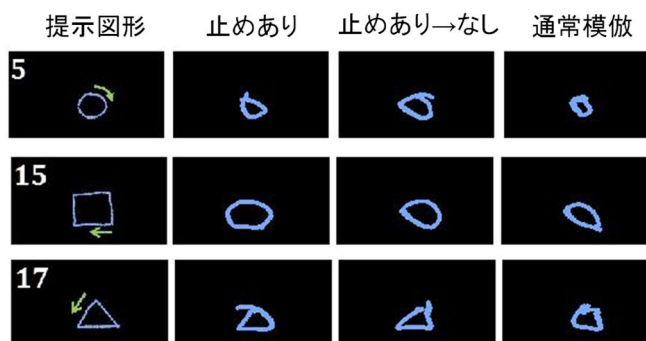


図 5：社会的側面導入による模倣描画

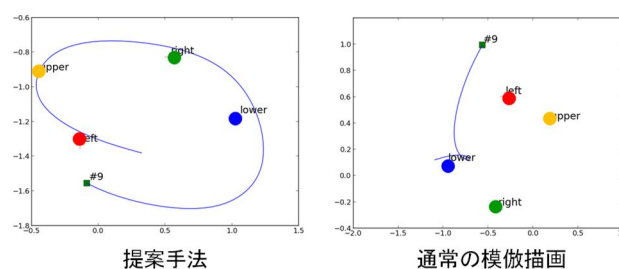


図 6：提案手法によるプリミティブの表現

本研究全体の成果としては、Luquet の 5 段階の描画発達に基づくロボットの描画発達モデルの基盤を描画発達の 3 つの側面から構築し、各側面において見られる現象を実装することで実験的にその有効性を検証したことが挙げられる。一方、本研究期間では描画発達の初期を対象としていたため、単純な図形のみを実験対象として扱ってきたが、より複雑な対象における有効性の検証は今後の課題として残されている。また、より高次の描画技能（第 4 段階や第 5 段階）についてのモデル拡張にも今後取り組むことが重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiroki Urakami, Shun Nishide and Fuji Ren	4. 巻 9
2. 論文標題 Towards a Developmental Human-Robot Interaction System Using Robot Facial Expressions From Human Feedback	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Intelligence	6. 最初と最後の頁 127-136
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shun Nishide and Fuji Ren
2. 発表標題 Improvement of Developmental Drawing Imitation Using Recurrent Neural Network Through Incorporation of AVITEWRITE Model
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安村 亮祐, 西出 俊, 康 シン, 任 福継
2. 発表標題 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
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 美咲, 西出 俊, 康 シン, 任 福継
2. 発表標題 神経力学モデルを用いた部分描画系列からの描画図形予測
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野中 柚希, 西出 俊, 康 シン, 任 福継
2. 発表標題 ペンの持ち上げを考慮した神経力学モデルによる手書き漢字の学習
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田 伊慶, 西出 俊, 康 シン, 任 福継
2. 発表標題 神経回路モデルを用いたプリミティブの階層的学習
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shun Nishide
2. 発表標題 Developmental Drawing Robot Using Recurrent Neural Network Model
3. 学会等名 International Conference for Top and Emerging Computer Scientists (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shun Nishide
2. 発表標題 Creation of a Developmental Drawing Robot Using Multiple Timescales Recurrent Neural Network Model
3. 学会等名 International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuda Tadayoshi, Yamashita Maki, Shun Nishide, Xin Kang and Fuji Ren
2. 発表標題 Learning Efficient Drawing Sequence Through Training of Recurrent Neural Network Model
3. 学会等名 International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安田 伊慶, 山下 茉紀, 西出 俊, 康 シン, 任 福継
2. 発表標題 神経力学モデルを用いた描画系列学習と効率的な描画動作のモデル内表現
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroki Urakami, Shun Nishide, Fuji Ren
2. 発表標題 Towards a Developmental Human-Robot Interaction System Using Robot Facial Expressions From Human Feedback
3. 学会等名 International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考