

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21318

研究課題名（和文）身体から得られる個々の経験を記憶する脳型人工知能ハードウェアとホームロボット応用

研究課題名（英文）A brain-inspired AI Hardware acquiring memory of individual episodes obtained from bodies and its hardware implementation

研究代表者

田中 悠一郎 (Yuichiro, Tanaka)

九州工業大学・ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター・助教

研究者番号：70911288

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：ロボットの身体から得られる固有の経験を記憶し、思い起こすことができるAIモデルとそのハードウェアの実現に向けた研究を行った。ここでは、レザバー計算をベースとした学習にかかる計算コストが低いAIモデルを考案し、ロボットの経験データが少量であっても学習を完了できるようにした。このモデルを使うことで、ロボットは「この物体を触ったことがあるか」を記憶を参照して判断できるようになった。また、モデルの低消費電力化に向けて、ナノ材料を用いたレザバー計算デバイスを用いてこのAIモデルを実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行主流の統計的AIは大量のデータによる学習に基づいているため、少量の経験に基づいた記憶獲得の実現は困難である。本研究が開発に取り組んだ少量の経験に基づくAIは、現行AIが対応していない機能を備える新しいタイプのAIである。このAIは例えば、ホームロボットがその固有の環境で得られる経験の獲得などに活用できると考えられ、本研究はホームロボットの社会実装に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study developed an artificial intelligence (AI) model that acquires memory of individual experiences of robot bodies and its hardware. The AI model is based on reservoir computing so that the computational cost for training is low and therefore, the training can be done with a small amount of robot experience. For example, a robot can memorize tactile information when grasping some object and judge whether the robot has grasped the object or not referring to its memory. Additionally, this study implemented the AI model on a reservoir computing device by nanomaterial toward low-power implementation.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：脳型人工知能 身体性 ロボット ハードウェア

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は元々、人のように考える AI を実現し、それをホームロボットに搭載することで、ロボットが人と共に働く世界を実現したいという動機があった。本研究は、そのような高度な AI を実現するために、生物の情報処理では脳だけでなく身体が重要な役割を担うという生理学的知見に基づいて、ホームロボットの情報処理に身体を取り入れるアプローチをとることとした。しかしながら、身体から得られる情報は、身体が個々で異なり、活動環境も個々で異なるため個体特有のもので、大量にデータを集められないため、現行の統計的 AI では処理が難しいという問題があった。さらに、ホームロボットが得る情報は所有者とその家族の個人情報を含み、クラウド処理ではプライバシーの侵害が懸念されるためエッジ処理が望ましいが、現行のソフトウェアによる計算方式では消費電力が高く、即座にバッテリー切れを起こし、ロボットを長時間駆動できないという問題があった。

2. 研究の目的

本研究は、生物の記憶システムを模倣することで、個々の情報(少量データ)を処理・学習できる AI の実現を目指した。これは現在の主流である統計的な AI (大量データ必須) とは正反対のアプローチである。また、本研究は AI を低電力に実現するため、AI モデルのハードウェア化を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、皮膚を模倣した柔軟触覚センサを搭載したロボットハンドを身体として導入した。この身体から得られる時系列情報を処理することで物体を操作するタスクなどの達成を目指した。タスクを達成するにあたり重要となるのが記憶システムで、これは身体からの情報をエピソードとして記憶し、過去のエピソードを想起して、今の状況からタスクを成功できそうかの判断に活用する。ここで問題となるのが、使用する柔軟触覚センサは製造誤差が大きく、身体からの情報は個々で異なるため、統計的な AI では記憶獲得機能の実現が難しいという点である。そこで本研究は、脳機能のうちエピソード記憶に携わる海馬を模倣した AI モデルを導入した。さらに本研究は AI モデルのハードウェアも考える。現行の AI では、モデルがソフトウェアとして、コンピュータというハードウェアを動かす。一方で本研究は、ハードウェアが持つ特性を直接計算に用いる、アルゴリズムとハードウェアが一体となった、現行の AI よりも低電力な AI 実装を目指した。そこで本研究は、ナノ材料によるレザパー計算デバイスを中心とした AI ハードウェアシステムを構築した。このデバイスを採用したのは、ナノ材料のランダム構造や非線形性を計算に活用するためコンピュータより低電力である点、レザパー計算が時系列処理に適する点、レザパー計算が学習の計算コストが低く、身体から得られる個々の情報の学習に適する点から、本研究への適用に望ましいと考えたためである。

4. 研究成果

2021 年度は、ロボットの身体から得られる個々の情報を記憶し、想起する機能をもつ AI モデルの考案に取り組んだ。特に、当機能の実現方法として、レザパー計算をベースとする手法を模索した。取り組みの一つとして、身体から得られた感覚情報を記憶し、ロボットが任意の物体を「触ったことがあるか」を判断できるシステムを開発した。ここでは、ロボットが物を掴んだ時、触覚センサから得られた感覚情報をレザパーに与え、学習したことのある感覚情報のみを想起できるように学習を調整した。この結果、実際の感覚情報とレザパーの想起出力の比較により、その感覚情報が学習したことがあるものか否かを判断できるようになった。この学習は少量のデータによって実現されており、現行の統計的 AI では処理困難な一機能を実現できたといえる。ここで得られた成果は、第 39 回日本ロボット学会学術講演会にて報告済である。また、記憶・想起に用いるレザパーの性能拡充を目的とし、時定数が異なる複数のレザパーを組み合わせることで、異なる周波数を持つ様々な入力に対して柔軟に対応する AI モデルの考案にも取り組んだ。ここで得られた成果は、国際会議 NLSW2021、学術雑誌 Nonlinear Theory and Its Applications、IEICE にて報告済で、特許出願も行った。さらに、ロボット競技会 RoboCup@Home (日本大会) にて、ロボットが人の手を引いて案内するタスクのデモンストレーションを披露した。このデモンストレーションでは、ロボットが人の手を取る際に、触覚センサから得られた感覚情報をもとに、適切な強さで手を握る制御をレザパーで行い、ロボットの身体から得られた個々の情報の適切な処理方法を示した。このデモンストレーションは当大会において Technical Challenge 賞を受賞した。

2022 年度は AI モデルのハードウェア化とロボット応用に取り組んだ。AI モデルのハードウェア化では、前年度に開発した AI モデル(時定数が異なる複数のレザパーを組み合わせた

て、異なる周波数を持つ様々な入力に対して柔軟に対応するモデル)をスルホン化ポリアニリンネットワークによるレザバーデバイスを用いて実装した。ここでは、実装したモデルがソフトウェアで実装したモデルの性能には及ばないものの、レザバーを有さないモデル(線形モデル)より高い性能をもつことを示した。ただし、ハードウェア化による性能の悪化はレザバーデバイスの計測機器のノイズによる影響が大きく、回路実装によって改善できるものと考えられる。ここで得られた成果は、回路とシステムのフラグシップ会議である IEEE International Symposium on Systems and Circuits 2023 に採択され、次年度に報告予定である。ロボット応用では、柔軟触覚センサ搭載のロボットハンドを用いて物体を正しく掴んだときの触覚情報を記憶し、新たに物体を掴むときに得た触覚情報が記憶にあるものと同じであるかどうかを判断することで、物体を想定通りに掴めているかどうかの検証に活用するシステムを開発した。ここで得られた成果は第 40 回日本ロボット学会学術講演会にて報告済みである。

研究期間全体の達成状況をまとめると、ロボットの身体から得られる個々の情報を記憶し、想起する機能をもつ AI モデルの考案とハードウェア化を完了し、ソフトウェアによる検証に止まってはいるが、ホームサービスロボットへの実装・検証も完了しており、概ね計画通りに研究が遂行したと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takumi Kotooka, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Yuki Usami, Hirofumi Tanaka	4. 巻 16
2. 論文標題 Random network device fabricated using Ag ₂ Se nanowires for data augmentation with binarized convolutional neural network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/acae6a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh	4. 巻 13
2. 論文標題 Reservoir-based convolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 397-402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.13.397	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh	4. 巻 13
2. 論文標題 Reservoir-based convolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 397-402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.13.397	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件/うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Yuichiro Tanaka, Yuki Usami, Hirofumi Tanaka, Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 In-Material Reservoir Implementation of reservoir-Based Convolution
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Usami, Yuichiro Tanaka, Takumi Kotooka, Hakaru Tamukoh, Hirofumi Tanaka
2. 発表標題 Material computing based on electrochemical dynamics
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 Reservoir-based 1D convolution
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinobu Mizutani, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Katsumi Tateno, Osamu Nomura, Takashi Morie
2. 発表標題 Multiple memory accumulation and recall by a hippocampus model reflecting emotional values
3. 学会等名 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Usami, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Takuya Matsumoto, van der Wiel W, Hirofumi Tanaka
2. 発表標題 Reservoir computing in the matter based on electrochemical dynamics
3. 学会等名 16th International Conference on Nanostructured Materials (NANO2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宇佐美 雄生, 田中 悠一朗, 琴岡 匠, 田向 権, 田中 啓文
2. 発表標題 電気化学ダイナミクスリザバーを用いた分類用データ拡張
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 琴岡 匠, Lilak Sam, Stieg A. Z., Gimzewski J. K., 田中 悠一朗, 田向 権, 宇佐美 雄生, 田中 啓文
2. 発表標題 Ag ₂ Seナノワイヤネットワークインマテリオリザバーデバイスの音声分類
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳野 将士, 田中 悠一朗, 川節 拓実, 細田 耕, 田向 権
2. 発表標題 ロボットの触覚の記憶獲得と記憶に基づいた違和感の検知
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osamu Nomura, Ichiro Kawashima, Seiji Uenohara, Yuichiro Tanaka, Akinobu Mizutani, Kensuke Takada, Katsumi Tateno, Hakaru Tamukoh, and Takashi Morie
2. 発表標題 A Memory-based LSI Architecture for Entorhinal-hippocampal Model
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinobu Mizutani, Yuichiro Tanaka, Ichiro Kawashima, Hakaru Tamukoh, Katsumi Tateno, and Takashi Morie
2. 発表標題 Memory-based Action Planning Inspired by Hippocampal Replay
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinobu Mizutani, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Yuichi Katori, Katsumi Tateno and Takashi Morie
2. 発表標題 A Situation-dependent Navigation System by Brain-inspired Neural Networks with Hippocampus, Prefrontal Cortex, and Amygdala Functions
3. 学会等名 The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 Reservoir-based Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The 2021 NonLinear Science Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akinobu Mizutani, Yuichiro Tanaka and Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 A Data Collection System for Home Environment Adaptation of Service Robots
3. 学会等名 9th International Symposium on Applied Engineering and Sciences (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akinobu Mizutani, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Yuichi Katori, Katsumi Tateno, and Takashi Morie
2. 発表標題 Brain-inspired neural network navigation system with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions
3. 学会等名 2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳野 将士, 田中 悠一朗, 川節 拓実, 細田 耕, 田向 権
2. 発表標題 柔軟接触センサを搭載したロボットハンドを用いたアクティブセンシングによる物体認識
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 悠一朗, 田向 権, 立野 勝巳, 田中 啓文, 森江 隆
2. 発表標題 海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した脳型AIハードウェア
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会, AIアクセラレータ:人工知能デバイスの新展開(招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 情報処理装置、情報処理方法、及びプログラム	発明者 田中 悠一朗, 田向 権	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-202492	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

九州工業大学研究者情報
https://hyokadb02.jimu.kyutech.ac.jp/html/100001426_ja.html
Researchmap
<https://researchmap.jp/tanaka-yuichiro>
九州工業大学田向研究室
<https://www.brain.kyutech.ac.jp/~tamukoh/achievement/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------