

令和 6 年 5 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17849

研究課題名（和文）昆虫脳を模倣するシリコン神経ネットワークチップ基盤技術の開発

研究課題名（英文）Development of silicon neuronal network system of the insect brain

研究代表者

名波 拓哉（Nanami, Takuya）

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：90830787

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：昆虫脳を模倣するシリコン神経ネットワーク基盤技術の開発に向けて、初めにシリコンニューロン技術の開発を行った。シリコンニューロンはシリコン神経ネットワークチップにおいてもっとも重要な構成要素であり、我々は比較的少ない消費回路で多種多様なニューロンを忠実に再現することができる Piecewise Quadratic Neuron (PQN) 技術を開発した。次に、昆虫の脳の一部を再現するシリコン神経ネットワークの構築を行った。ショウジョウバエの嗅覚神経系を対象に、PQN技術を用いて、神経系の機能やよく知られた神経活動を再現する神経ネットワークモデルを構築し、デジタル演算回路上で動作することを確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳は高度で柔軟な知性を自律的に獲得し、非常に少ない消費エネルギーで動作する。シリコン神経ネットワーク分野では、脳構造を模倣することでこれらの優れた特性を持つ人工システムの実現が試みられているが、その手法ははまだ確立されていない。本研究では、構造と機能が比較的よく理解されているショウジョウバエの嗅覚神経系を対象に、独自開発したシリコンニューロン技術を用いて、神経系を忠実に再現するシリコン神経ネットワークを構築した。本アプローチを発展させることで将来的に、昆虫の全脳や、哺乳類の脳を再現する人工システムが構築できると期待できる。

研究成果の概要（英文）：Towards developing a silicon neuronal network system that mimics insect brains, we first developed a silicon neuron model. Silicon neurons are the most crucial components in silicon neuronal network system, and we have developed the Piecewise Quadratic Neuron (PQN) model, which can faithfully reproduce a wide variety of neuronal activities while using limited circuit resources. Subsequently, we constructed a silicon neural network that replicates the olfactory nervous system of the fruit fly. By employing the PQN model, we built a network model that reproduces the functions and observed neural activities of the brain. The entire system was implemented on the field programmable gate array.

研究分野：シリコン神経ネットワーク

キーワード：シリコン神経ネットワーク ショウジョウバエ スパイキングニューロンモデル 神経模倣システム F
PGA

1. 研究開始当初の背景

脳神経系は、高度かつ柔軟な知性を自律的に獲得し、また消費エネルギーは非常に少ない。シリコン神経ネットワークは、神経系を模倣することで、これらの優れた脳の実現する電子回路システムである。シリコン神経ネットワークは非同期に動作する無数のシリコンニューロンから構成され、各シリコンニューロンは、深層学習等の人工ニューラルネットワークで用いられる人工ニューロンではなく、ニューロンのダイナミックな挙動を再現し、スパイクを以って信号を伝達するスパイクングニューロンを実現する点が特色である。シリコン神経ネットワークにおいて、ニューロン及びシナプスのダイナミクスの計算アルゴリズムは、プログラムではなく電子回路で直接実現される。加えて、脳神経系を模倣して、超並列かつ分散なアーキテクチャを持つため、ノイマン型コンピュータを用いたプログラムによる実装に比べて、超低消費電力・高速・省サイズで脳神経系の活動をシミュレーションすることができる。そのため、ポストムーア時代の新しいコンピューティングアーキテクチャとして、また次世代人工知能の基盤技術として期待されている。

2. 研究の目的

本研究では計測技術の発展により、近年急速に構造や機能が解明されつつある昆虫の脳に着目した。昆虫脳の構造を再現するシリコン神経ネットワークを構築し、その機能を実現できることを示すことで、脳を忠実に再現するシリコン神経ネットワーク構築手法の確立を狙う。

3. 研究の方法

シリコン神経ネットワークは相互に接続されたシリコンニューロンからなる。シリコンニューロンは神経細胞の活動を再現することで情報の処理を行うが、再現性と消費回路リソースのトレードオフが存在する。そこで本研究では比較的少ない消費回路リソースで多種多様な神経活動を再現できる Piecewise Quadratic Neuron (PQN) モデルを開発した。これはこれまでの研究で開発した、Digital Spiking Silicon Neuron (DSSN) モデルを改良したものであり、より少ないパラメータで自然な形で神経細胞の電気化学的ダイナミクスを記述できる。次に、PQN モデルを用いてショウジョウバエの嗅覚神経系を再現するシリコン神経ネットワークを構築した。ここで、国内外の神経科学者と連携し、なるべく実際の神経系を忠実に再現するようにモデルを構築した。

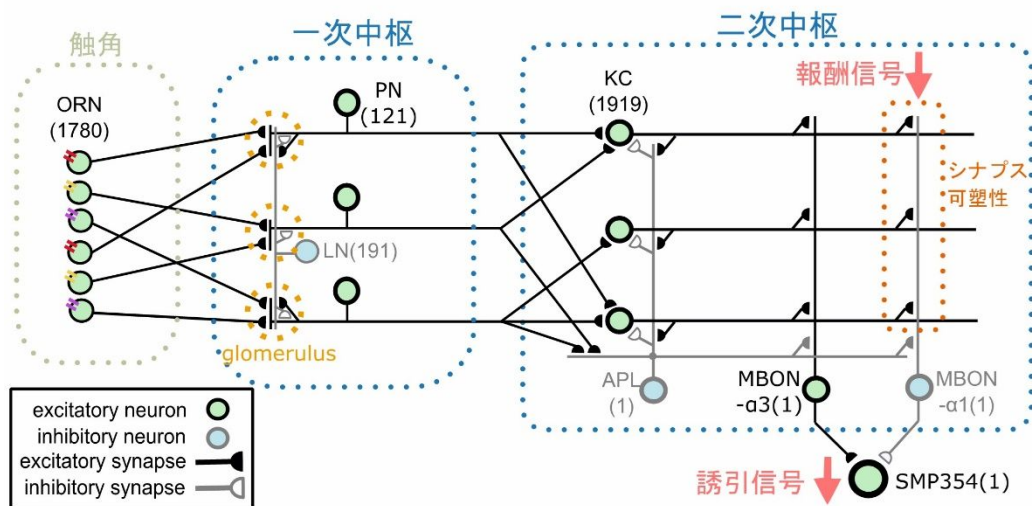


図1 構築した神経ネットワークの概要

4. 研究成果

図1に構築された、昆虫の嗅覚神経系を模倣する神経ネットワークの概要を示す。ネットワークは触角、一次中枢、二次中枢からなる。触角にある嗅受容細胞から匂いの信号が与えられ、一次中枢で信号が統合され、二次中枢では匂いの脳内表現が行われる。また、二次中枢では餌や外部刺激からの報酬・罰信号による学習も行われる。学習はシナプスの伝達効率の変化で実現され、それに伴い、匂いに対する昆虫の活動が経験依存で変化する。

ネットワークの実装は field programmable gate array を用いて行われた。構築したシステムは実際の神経系と同じ速度で動作し消費電力は約0.3Wであった。また、嗅覚神経系の主要な機能である、匂い連合学習を再現できることを確かめた。さらに、実際のショウジョウバエの一次中枢で見られる神経細胞の特徴的な同期発火を再現できることを確かめた。

本アプローチを発展させることで将来的に、昆虫の全脳や、哺乳類の脳を再現する人工システムが構築できると期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takuya Nanami, Takashi Kohno	4. 巻 16
2. 論文標題 Piecewise quadratic neuron model: A tool for close-to-biology spiking neuronal network simulation on dedicated hardware	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1--19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2022.1069133	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 Takuya Nanami, Daichi Yamada, Makoto Someya, Toshihide Hige, Hokto Kazama, Takashi Kohno	4. 巻 1
2. 論文標題 A lightweight data-driven spiking neural network model of Drosophila olfactory nervous system with dedicated hardware support	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1--29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1101/2023.10.12.560618	査読の有無 無
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2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takuya Nanami, Takashi Kohno
2. 発表標題 Spike pattern detection with close-to-biology spiking neuronal network
3. 学会等名 The 2023 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2023)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 名波拓哉
2. 発表標題 昆虫脳を模倣するニューロミメティックシステム
3. 学会等名 脳型ハードウェア技術とそのロボット応用、日本ロボット学会（招待講演）
4. 発表年 2024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
--	---------------------------	-----------------------	----

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