

Society 5.0を支える革新的コンピューティング技術
2019年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

井上 公

産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門
上級主任研究員

スパイクングネットによるエッジでのリアルタイム学習基盤

主たる共同研究者:

飯塚 哲也 (東京大学 大学院工学系研究科 准教授)

藤原 寛太郎 (東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構 特任准教授)

堀田 育志 (兵庫県立大学 大学院工学研究科 准教授)

矢嶋 赳彬 (九州大学 大学院システム情報科学研究院 准教授)

研究成果の概要

本研究のターゲットは、人間が人間らしく生きられる情報社会に必要な技術の開発です。「人に寄り添う」エッジデバイスは数ミリ〜数秒の時間スケールを持つ入力データをリアルタイムに学習し推論する必要がありますが、本研究ではそれに対応できるスパイクングネット(SNN回路)を開発します。この回路は、生物の神経細胞のように「長い時間スケール」をもつアナログ素子で構成される方が効率的であるとされています。そこでこの素子を従来のシリコン半導体を用いた「(1)デジタル回路」で模倣するのが良いのか、「(2)アナログCMOS回路」で模倣するのが良いのか、あるいはシリコン半導体にはない機能をもつ「(3)特別な材料」で作製するのが良いのかという問題を、電力消費や集積可能性をきちんと比較できるプロトタイプを作って検証します。このプロトタイプの作製と実証こそが、未来の「人に寄り添う」デバイス開発への、画期的なマイルストーンになるでしょう。2022年度は三角形を描く筆跡をリアルタイムに異常検知するプロトタイプを作製し、実証実験に成功しました。その際、(1)の取り組みとして、リザーバー計算のモデルを構築し、計算機シミュレーションで通常の深層学習と比較して1桁以上の省電力化を達成しました。FPGAに実装してリアルタイム異常検知のデモにも成功しました。(2)の取り組みでは、アナログCMOS回路で、パルス幅とパルス間隔の情報で動作するニューロンとシナプスを開発しASICで実証しました。これにより異常検知ができることを検証し、FPGAのモデルと比較するとさらに省電力化できることも示しました。(3)では、巨大コンデンサなしでも長い時定数を持つ、酸素欠損(SrTiO₃ FET)やプロトン(WO₃デバイス)のDrift-Diffusionで動作する機能性素子を開発し、6個を組み合わせてリザーバー動作させることにも成功しました。

【代表的な原著論文情報】

- 1) "CMOS-based area-and-power-efficient neuron and synapse circuits for time-domain analog spiking neural networks", Applied Physics Letters, vol. 122, article # 074102, 2023
- 2) "Reservoir computing with diverse timescales for prediction of multiscale dynamics", Physical Review Research, vol. 4, article # L032014, 2022
- 3) "Controlling proton volatility in SiO₂-capped TiO₂ thin films for neuromorphic functionality", Applied Physics Letters, vol. 120, article # 241601, 2022
- 4) "An ultra-compact leaky integrate-and-fire neuron with long and tunable time constant utilizing pseudo resistors for spiking neural networks", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 61, article # SC1051, 2022
- 5) "Multi-reservoir echo state networks with Hodrick–Prescott filter for nonlinear time-series prediction", Applied Soft Computing, vol. 135, article # 110021, 2023