

2023 年度年次報告書

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

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

スパイキ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

個人情報や生体信号などの「人に寄り添う」データは、長い時間スケールの時系列データがほとんどで、現在の高速デジタル計算機のクロック周波数とは時間スケールが大きく異なります。したがってリアルタイム処理ではなくバッチ処理(ビッグデータやニューラルネットの大量のパラメータをメモリにいちいち保存し時間スケールを変更して処理)する必要があります。これは大きな電力消費を伴うためエッジで行うのは困難です。ネットでクラウドに送って処理するにもプライバシー保護という難問があります。我々は、電力制限のあるエッジで遅いデータをリアルタイム処理できる学習基盤を提唱します。時定数の長いニューロモルフィック素子を開発し、リザーバーアーキテクチャを構築、さらに脳型アルゴリズムを実装する三本柱の研究です。VCO によるニューロンとシナプスを考案し、アナログ CMOS 回路の ASIC 上で実証しました。酸素欠損(SrTiO₃ FET)やプロトン(WO₃ デバイス)のドリフト拡散を用いる機能性素子を開発し、長い時定数を持つリザーバー動作に成功しました。さらに、マルチノードのリザーバーで筆跡認証に成功しました。

2023 年度は、プロトン素子リザーバーにフィードバックループを導入し、アトラクタを形成して血糖値を予測することに成功しました。遅い時定数で動作する回路を「スローエレクトロニクス」と名付け、非常に多種類の時系列データの学習と推論のシミュレーションを進めました。今後一般公開します。筆跡に手首の運動データを合わせたマルチモーダル学習で本人認証の精度を向上させることにも成功しました。素子製造プロセスの見直しも行い、SrTiO₃ FET ニューロンの動作原理を解明しました。ここで得られた SPICE パラメータを用いて、現在は大規模リザーバー回路を ASIC 上に構築しているところです。最終年度に「スローエレクトロニクス」の有用性を証明するデモンストレーションを行うための準備を進めています。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Long-time-constant leaky-integrating oxygen-vacancy drift-diffusion FET for human-interactive spiking reservoir computing.” 2023 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits, 2023.
- 2) “Analysis of SAR ADC Performance Enhancement utilizing Stochastic Resonance.”
IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs, vol. 70, pp.4324-4328, 2023.
- 3) “Zero-dimensionality of a scaled-down VO₂ metal-insulator transition via high-resolution electrostatic gating.” NPG Asia Materials, vol. 15, article #39, 2023.
- 4) “Review of solid-state proton devices for neuromorphic information processing.”
Japanese Journal of Applied Physics, vol. 63, article #030801, 2023.
- 5) “Functional improvement in β cell models of type 2 diabetes using on-demand feedback control.”
AIP Advances, vol. 13, article #045317, 2023.