

Society5.0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

2021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／筑波大学 大学院数理物質系  
主任研究員／教授

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

## § 1. 研究成果の概要

エッジで動作するデバイスにリアルタイムで私的なデータを学習／推論させたい場合、深層学習だと一般に電力消費が非常に大きいのが難点です。クラウドにネットで接続して使用すればよいのですがハッキングの危険があり、リアルタイム性も問題です。そこで本プロジェクトは「低消費電力でリアルタイムに学習／推論を行う方法」を開発し、エッジで独立動作する学習基盤に実装することを目指します。

我々は「私的データの学習／推論」として、「入力データに周期性がある場合にそれを抽出して記憶(学習)し、逸脱を検知(推論)する」ということに対象を絞りました。この目的のためには『(1)リザバーというニューラルネットワーク(NN)を使って高次元空間で入力を分類し(周期性抽出)、アトラクタ形成により記憶させる』ことが最善であると考えました。そのNNに必要な『(2)ニューロモルフィック素子の開発』を行い、『(3)アナログのCMOS回路やデジタルのFPGA回路でのシミュレーション』を重ねて、『低消費電力リアルタイムでの本人認証』を実証することが最終目標です。

2021年度は(1)のモデルのFORCE学習という理論を実装可能にする研究を進め、Transfer FORCEという新モデルを提唱。三角形を描く際の筆跡の個人差を用いた本人認証を計算機シミュレーションで成功させました。こうした生体信号の周期は非常に長いので、(2)ではH<sup>+</sup>伝導を用いた長い時定数の素子を新たに開発。(3)ではニューロンの特徴であるリーク付き積分動作を、ミリ秒もの長い時定数で巨大コンデンサなしで実現できることを、疑似抵抗回路を導入したアナログCMOS回路(ASICに実装)で実証。さらにパルス振幅という素子のばらつきに影響されやすい情報を用いず、パルス幅とパルス間隔の情報のみで動作するニューロンとシナプスも開発。ASICに実装して動作確認に成功しました。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 井上グループ

① 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/筑波大学大学院数理物質系、主任研究員/教授)

#### ② 研究項目

- ・素子開発(人工シナプス素子の作製、人工ニューロン素子の作製)
- ・素子の動作原理解明(人工シナプス動作原理解明、人工ニューロン動作原理解明)
- ・要素回路の動作検証(シナプスデバイスモデル構築、ニューロンデバイスモデル構築)
- ・回路設計とシミュレーションと試作(筆跡の異常検知装置を想定した回路設計・本人認証装置回路設計)

### (2) 飯塚グループ

① 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)

#### ② 研究項目

- ・要素回路の動作検証(シナプスデバイスモデル構築、ニューロンデバイスモデル構築、シナプスデバイス動作模擬回路の設計、ニューロンデバイス動作模擬回路の設計)
- ・回路設計とシミュレーションと試作(筆跡の異常検知装置を想定した回路設計・筆跡の異常検知装置回路シミュレーション・筆跡の異常検知装置回路試作・本人認証装置回路設計・本人認証装置回路シミュレーション・本人認証装置回路試作)

### (3) 藤原グループ

① 主たる共同研究者:藤原 寛太郎 (東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構、特任准教授)

#### ② 研究項目

- ・アトラクタ解析と設計(アトラクタ解析の数学的モデル構築、スパイク信号に対するアトラクタの設計、ノイズに対するアトラクタシステムの設計)
- ・回路設計とシミュレーションと試作(筆跡の異常検知装置を想定した回路設計、筆跡の異常検知装置回路シミュレーション、本人認証装置回路設計、本人認証装置回路シミュレーション)

### (4) 堀田グループ

① 主たる共同研究者:堀田 育志 (兵庫県立大学大学院工学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・アトラクタ解析と設計(スパイク信号に対するアトラクタの設計、ノイズに対するアトラクタシステムの設計、ノイズによるアトラクタ切替制御の開発)
- ・回路設計とシミュレーションと試作(筆跡の異常検知装置を想定した回路設計、本人認証装置回路設計)

(5) 矢嶋グループ

① 主たる共同研究者: 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)

② 研究項目

- ・素子開発 (人工シナプス素子の作製、人工ニューロン素子の作製)
- ・素子の動作原理解明 (人工シナプス動作原理解明、人工ニューロン動作原理解明)
- ・要素回路の動作検証 (シナプスデバイスモデル構築、ニューロンデバイスモデル構築)
- ・回路設計とシミュレーションと試作 (筆跡の異常検知装置を想定した回路設計・本人認証装置回路設計)

【代表的な原著論文情報】

- 1) “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, No. SC, p.1051, 2022
- 2) “Ultra-low-power switching circuits based on a binary pattern generator with spiking neurons”, Scientific Reports, vol. 12, p.1150, 2022
- 3) “Transfer-RLS method and transfer FORCE learning for simple and fast training of reservoir computing models”, Neural Networks, vol. 143, p.550, 2021
- 4) “Multiple transition of synchronization by interaction of external and internal forces in bursting oscillator networks”, Nonlinear Theory and Its Applications, vol. 12, No.3, p.545, 2021