

2023 年度年次報告書

情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム

2021 年度採択研究代表者

小菅 敦丈

東京大学 大学院工学系研究科

講師

デバイス・システム協調による超低電圧布線論理型 AI プロセッサ

研究成果の概要

Society5.0 実現のためには実空間で超低電力に動作する情報処理システムが必要不可欠である。従来 AI プロセッサの課題は、高い電力を消費するメモリアクセスであった。本研究ではメモリアクセスを無くし、人間の脳と同じように、データが演算素子間をダイレクトに流れ情報処理される布線論理型プロセッサの研究を推進している。メモリアクセスを無くすことで、消費電力の 2 桁以上の削減が可能になる。

布線論理型プロセッサはこれまでも研究されてきたが、深層ニューラルネットへの応用は限定的であった。(1)チップ上に集積できる演算器の個数が限られているため、ネットワーク規模に制約があること、(2)配線・演算器が特定のニューラルネットに固定されるため汎用性がないことが理由であった。

上記課題を解決し世界に先駆けて大規模 AI の布線論理型プロセッサを実現するために、これまで 2 つの要素技術:(A)省ニューロンで省シナプスなニューラルネットワークアルゴリズム(Non-linear neural network NNN)、(B)NNN を省面積に処理するシフトレジスタ型やラスタースキャン型のニューロンセルアレーの研究を進めてきた。より詳細な脳の神経活動を模倣した Dendrite-inspired NNN (dNNN)技術を開発し、よりニューロン・シナプスを削減できることを実証した。本成果はニューロモルフィックプロセッサの新規形態として高い評価を集め、IEEE のコンピュータアーキテクチャに関するジャーナル、IEEE Micro に掲載された[1]。実応用への展開も進めた。音声コマンド認識に焦点を充て、業界標準で用いられている Google Speech Command Dataset で規定される 35 語のコマンドを全て認識可能な、超低電力 DNN プロセッサを開発した。これまでの AI プロセッサと比較し、2000 倍以上電力効率が高い[2]。本成果は高く評価され、半導体集積回路分野におけるプレミア学会である IEEE VLSI Symposium on Circuits と、フラグシップジャーナルである IEEE Solid-State Circuits Letters(SSC-L)に掲載された[3]。ニュースリリースも行い、乾電池 1 本で 2 年以上連続動作可能な AI プロセッサとして注目を集めた[4]。また非線形ニューラルネットワーク技術において非線形関数の処理ブロックが大きな回路面積を占めていることに着目し、非線形関数の簡略表現手法を考案した[5]。DNN では値の小さい計算が精度に影響を与えることから、0 近傍は高精度に非線形関数をする一方、値の大きな領域は低精度に非線形関数を計算することで回路実装を簡略化した。2023、2024 年度はこれまで開発した NNN 技術とシフトレジスタ型ニューロンセルアレーを発展させ、実アプリケーションへの適用を目指しさらなる大規模化技術を開発した。(C)プログラマビリティを実現するための VIA-Programmable Neuron Array (VPNA)技術している。VIA プログラミングによりネットワーク実装のプログラマビリティを実現している。

【代表的な原著論文情報】

- [1] A. Kosuge *et al.*, *IEEE Micro*, vol. 43, no. 6, pp. 19-27, Nov.-Dec. 2023.
- [2] A. Kosuge *et al.*, *IEEE Symposium on VLSI Circuits*, June 2023.
- [3] R. Sumikawa *et al.*, *IEEE Solid-State Circuits Letters*, vol. 7, pp. 22-25, 2024.
- [4] “東大と JST、音声コマンド認識 AI の消費電力を 3 桁削減可能な布線論理型 AI プロセッサを開発,” 日本経済新聞, 2023 年 6 月 9 日.
- [5] D. Li *et al.*, *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, May 2024.