

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

2021 年度 年次報告書

佐藤茂雄

東北大学 電気通信研究所
教授

スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤

§ 1. 研究成果の概要

スピネッジコンピューティングハードウェア基盤の構築のために、3つのグループすなわちスピネッジコンピューティングハードウェア基盤(佐藤グループ)、スピネッジコンピューティング向け革新的アーキテクチャ(羽生グループ)、スピネッジコンピューティング向け材料デバイス技術(深見グループ)の協調により研究を進めている。今年度は、前年度に引き続き、材料・デバイス、回路、アーキテクチャそれぞれの階層で得られている要素技術の成熟化を図ると共に、新たに工学的応用を具体的に検討しながら階層間の融合も推し進めた。各グループの主な研究成果は次の通りである。

佐藤グループでは不揮発素子を活用したデジタル CMOS ニューラルネットワークの設計や、リザーバーコンピューティング向け低消費電力アナログ CMOS ニューラルネットワークの LSI 試作を行い、動作検証を行った。その結果、アナログ CMOS を用いた 10 ニューロン構成のリカレントニューラルネットワークが良好に動作すること、リザーバーコンピューティング等に応用可能な振舞いを示すことなどを明らかにしている。

羽生グループでは不揮発 FPGA を基本構成要素とした BCNN (Binarized Convolutional Neural Network) ハードウェアの回路設計を行い、その動作検証を FPGA ボード上に実装して行うと共に、LSI チップ試作を通じて行った。また、高位レベル演算記述を不揮発 FPGA 上へ自動的にマッピングする一連の設計ツールフローの改良を行った。加えて、確率的演算回路モデルを通じて、典型的な組合せ最適化問題へ適用し、その有効性を定量的に示した。

深見グループでは、アナログスピン素子の高性能化、低消費電力化、高集積化に向けた材料技術を構築した。また確率的スピン素子の高性能化に向けた新構造の提案や動作機構の理解の促進に取り組み、加えて確率的スピン素子を用いたボルツマン機械学習の原理実証を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) 佐藤グループ

① 研究代表者: 佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所 教授)

② 研究項目

・オンライン学習機能を高効率に実装するためのハードウェアアルゴリズムと DNN ネットワーク動作の検証

・アナログシナプス回路及び学習回路

(2) 羽生グループ

① 主たる共同研究者: 羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所 教授)

② 研究項目

・デジタルスピン/アナログスピン演算回路向けエッジ AI アーキテクチャの開発

・確率論的スピン演算回路向けエッジ AI アーキテクチャの開発

(3) 深見グループ

① 主たる共同研究者: 深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所 教授)

② 研究項目

・アナログスピン演算回路向けニューロン素子、シナプス素子

・確率論的スピン演算回路向けスピン素子

【代表的な原著論文情報】

1) “Sigmoidal curves of stochastic magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis”, Applied Physics Letters, vol. 119, 132406, 2021.

2) “Double-Free-Layer Magnetic Tunnel Junctions for Probabilistic Bits”, Physical Review Applied, vol. 15, 044049, 2021.

3) “Memristive control of mutual spin Hall nano-oscillator synchronization for neuromorphic computing”, Nature Materials, vol. 21, pp. 81-87, 2021.

4) “Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing,” IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022. (March 28 by online)

5) “A Subthreshold Spiking Neuron Circuit Based on the Izhikevich Model,” In: Farkaš, I., Masulli, P., Otte, S., Wermter, S. (eds) Artificial Neural Networks and Machine Learning - ICANN 2021, Lecture Notes in Computer Science, vol. 12895, Springer, Cham., pp 177-181, 2021.