

アナログニューロン回路とシナプス素子による 時系列学習のための駆動方法の検討

Driving methods of time-series learning with analog neuron circuit and synapse device

東芝研開セ¹, 東芝情報システム² ○丸亀孝生¹, 杉野順一², 北村俊光², 高橋功次², 田村豊²,
水島公一¹, 野村久美子¹, 西義史¹

Corporate Research and Development Center, Toshiba Corporation¹,
Toshiba Information Systems (Japan)²

○Takao Marukame¹, Junichi Sugino², Toshimitsu Kitamura², Koji Takahashi², Yutaka Tamura²,
Koichi Mizushima¹, Kumiko Nomura¹, and Yoshifumi Nishi¹

E-mail¹: takao.marukame@toshiba.co.jp

【背景】人工知能 (AI) に特化したハードウェア開発において、ニューラルネットワーク (Neural Network; NN) を脳模倣型の回路と素子を用いて構築する技術、いわゆるニューロモルフィック技術が注目されている [1, 2]。我々はこれまでに比較器と抵抗シナプス素子から成るスタティックなアナログニューロン回路を考案し、CMOS 集積回路で 10 mW 程度の低消費電力で動作するアナログ積和演算および 2 μ s 程度以下の高速な発火動作を実証してきた [3-7]。また抵抗シナプス素子として TiN/MgO/WO_x および TiN/MgO/Si の 2 種類の金属酸化物系メモリスティブ素子を開発し、明瞭なアナログ抵抗変化とスパイク時間差依存可塑性 (Spike-Timing Dependent Plasticity; STDP) と、ダイオード効果を伴う nA オーダーの低電流動作を報告してきた [3-6]。さらに、アナログニューロン回路を再帰的 NN として用い、抵抗シナプス素子を STDP で学習させる NN システムを提案した [6, 7]。

【本報告】時系列データ認識等への応用へ向けて、アナログニューロン回路とシナプス素子の駆動方法を検討した。アナログニューロン回路をバイナリ入出力 +1/-1 かつバイナリ重み +1/-1 の Binary Neural Network (BNN) として用いた場合、入力と重みが一致したニューロンは積和演算の結果が最大値になる。アナログニューロン回路の出力は積和演算の結果に依存して応答時間が異なるため、時間領域の Winner-Take-All 回路を出力と組み合わせることによりパターンマッチング結果を判定することができる。さらに BNN アナログニューロン回路のバイナリ重みを乱数とし、再帰的な接続配置にすることでリザーバコンピューティングのような複雑系ネットワークを構成できる (Fig. 1)。リザーバ応用では一般的に出力部 (Readout) の重みを微調整することにより学習が進むため、アナログ的な抵抗変化を示す TiN/MgO/WO_x シナプス素子の抵抗を微調整するための駆動方法を検討した (Fig. 2)。書き込みパルス電圧の時間幅を調整することにより抵抗の増加と減少を対称的に制御できる。講演では抵抗変化の分解能と線形性が NN 特性に与える影響も議論する予定である。

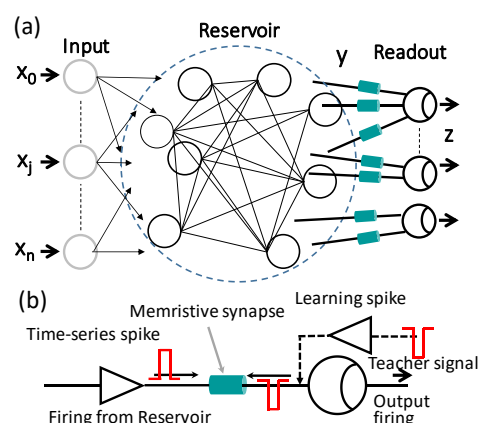


Fig. 1 Application image of memristive synapses [7]. (a) Typical reservoir NNs with input/reservoir (neuron chips in this study)/readout (output neuron with memristive synapse in this study). (b) A concept of pulse writing for the memristive device.

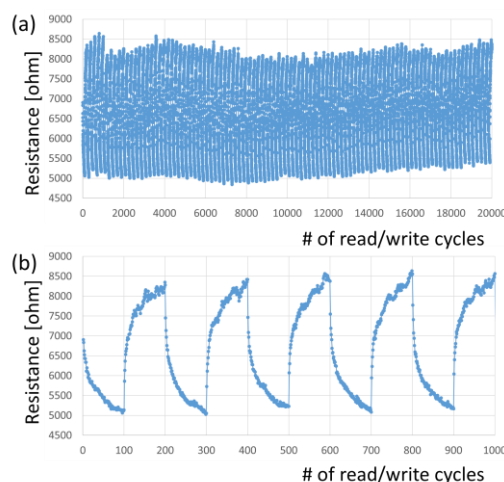


Fig. 2 Memristive characteristic of synapse devices; TiN/MgO/WO_x. (a) Repetitive resistance changes by digital pulse driving. (b) is a magnification of (a).

- [1] P. A. Merolla *et al.*, Science 345 668, 2014.
- [2] S. Kumar, *et al.*, Nature 585, 518-523, 2020.
- [3] T. Marukame *et al.*, ISCAS 2018.
- [4] T. Marukame *et al.*, ISCAS 2019.
- [5] T. Marukame *et al.*, JJAP. 59 040606, 2020.
- [6] T. Marukame *et al.*, SSDM 2020.
- [7] T. Marukame *et al.*, ISCAS 2020.