

可変抵抗器を用いた静的ニューロン回路および メモリスティブなシナプス素子における STDP の非線形動作

Nonlinear operations of static neuron circuits with variable resistors and STDP in memristive synapse devices

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, 石川和男², 高橋功二²,
田村豊², ベルダン ラドウ¹, 野村久美子¹, 西義史¹

TOSHIBA RDC¹, Toshiba Information Systems (Japan)² ○Takao Marukame¹, Junichi Sugino²,
Toshimitsu Kitamura², Kazuo Ishikawa², Koji Takahashi², Yutaka Tamura², Radu Berdan¹,
Kumiko Nomura¹ and Yoshifumi Nishi¹ E-mail: takao.marukame@toshiba.co.jp

【背景】近年、人工知能 (AI) 分野においてディープラーニング (深層学習) が大きく注目され、それに特化したハードウェア研究開発が活発化している。深層学習は多層型のニューラルネットワーク (Neural Network; NN) であり、NN は本質的に誤動作やばらつきの影響を受けにくいという特徴があるため新規エレクトロニクス技術の導入が期待できる [1]。また NN の演算単位となるニューロンにアナログ回路を導入し、演算の並列化と低消費電力化の両立が期待される。NN の学習はシナプスでの可塑性で理解され、その動作原理である Spike-Timing Dependent Plasticity (STDP) がメモリスティブな固体素子で模倣できることが示されている [2]。我々はこれまでに差動型の変抵抗器をシナプス重みとして用い、電流の平均化と閾値電圧による判定を動作原理とする独自のニューロン回路を提案し開発してきた [3]。今回、その回路構成の違いに依存した動作電圧の非線形性を解析したので報告する [4]。また将来的にアナログ重み量を小面積で実現するため、可変抵抗器に金属酸化物系のメモリスティブな素子を用いることを想定し、その重み制御手法としての STDP 型学習を検討中である [4]。

【ニューロン回路】ニューロン回路における電流平均化の回路構成を Fig. 1 に示すように 3 種類解析し比較した。カレントミラーにより一定電流を供給する方法で最も動作電圧と電力が安定となるが、入力値あるいは重み値の組み合わせによる電圧差の依存性は非線形になることがわかった。本回路は外部クロックに依存せず動作するため静的なニューロン回路として特徴付けられる。重み値表現に高抵抗素子を用いて電流量を低下させることで低消費電力化が期待できる。学習時の重み値はアナログ量が望ましいが、実行時 (推論時) は二値で比較的良好な性能が得られることをシミュレーションで確認した。

【シナプス素子】ニューロン回路における高抵抗かつアナログ変化可能な素子として、CMOS 配線層を想定した材料系の WO_x/TiN ベースの素子を製作し、明瞭な非線形性を伴う STDP 特性を観測した [4]。さらに WO_x/TiN の界面に MgO および Mg を挿入することで抵抗変化特性を変えることができ、膜厚に依存して複雑な振る舞いが生じることを観測した。STDP による学習はニューロン回路の出力信号と入力信号の時間差 (遅延) によって生じるべきであるが、本研究の回路は内部動作原理がアナログ回路方式であるため自然に遅延が得られ STDP への活用が期待できる。講演では静的ニューロン回路での遅延活用による動的動作についても議論する予定である。

[1] T. Marukame, *et al.*, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs **64**, 4, pp.462–466 (2017).

[2] T. Marukame, *et al.*, Japanese Journal of Applied Physics **57**, pp. 04FK06-1–04FK06-6 (2018).

[3] T. Marukame, *et al.*, IEEE Intl. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2018.

[4] T. Marukame, *et al.*, IEEE Intl. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2019.

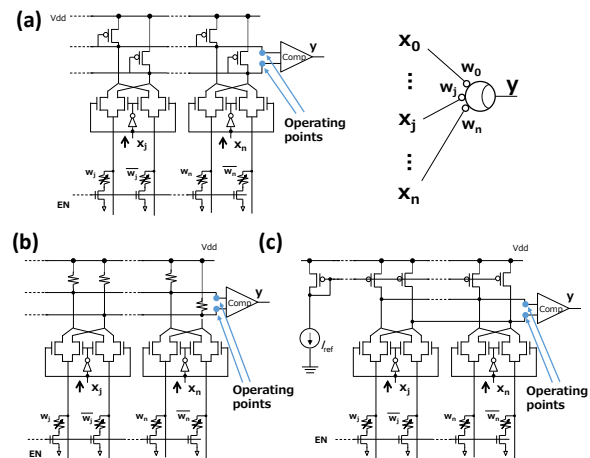


Fig.1. Three types of Static Neuron circuit configurations consisting of variable resistances as weights, cross switches for input, a comparator for output and current sources: (a) pMOSFET diode connections, (b) fixed resistances, and (c) current mirrors. The blue dots indicate operating points for the neuron circuits.