

# アナログメモリの非線形書き込み特性を考慮した リザーバー強化学習モデルの性能評価

## Performance Evaluation of Reinforcement Learning a Model Based on Reservoir Computing Considering Nonlinear Write Characteristics of Analog Memory

九工大・生命体工<sup>1</sup>, ニューロモルフィック AI ハードウェアセンター<sup>2</sup>, はこだて未来大<sup>3</sup>

○(M2)玉井 克典<sup>1</sup>, 田向 権<sup>1,2</sup>, 香取 勇一<sup>3</sup>, 野村 修<sup>1,2</sup>, 森江 隆<sup>1,2</sup>

Kyushu Inst. Tech.<sup>1</sup>, Neumorph Center<sup>2</sup>, Future Univ. Hakodate.<sup>3</sup>,

○K. Tamai<sup>1</sup>, H. Tamukoh<sup>1,2</sup>, Y. Katori<sup>3</sup>, O. Nomura<sup>1,2</sup>, and T. Morie<sup>1,2</sup>

E-mail: [morie@brain.kyutech.ac.jp](mailto:morie@brain.kyutech.ac.jp)

**[背景・目的]** これまで主に画像認識用 AI チップとして, SRAM を用いた 2 値荷重ニューラルネットワークの集積回路実装が数多く報告されてきた. しかし, 強化学習等の多値荷重を必要とするニューラルネットワークの回路実装は, 不揮発性アナログメモリ素子を用いたときの超高効率性が期待されつつも, メモリ素子の様々な課題が原因でほとんど報告されていない. その課題の一つに非線形な書き込み特性がある. 本研究では, すでに提案されている Fig. 1 に示すリザーバー強化学習 (リザーバーを用いた Q 学習) モデル<sup>[1]</sup>において, 不揮発性アナログメモリ素子にみられる非線形書き込み特性を理想化してシミュレーションに組み込み, モデルの学習性能を評価した.

**[実験方法]** 回路上での荷重値はメモリセルに流れる電流に対応し, PWM 信号で更新される. リザーバーからの出力を PWM 信号で表現して各メモリセルを制御することで電流加算による積和演算を実現し, キャパシタの充電電圧として状態行動価値 (Q 値) が出力される. 今回は, 回路での荷重更新と Q 値の計算を数値シミュレーション上で実現した. アナログメモリの中には荷重の減少を表現できないタイプが存在するため, 一対のメモリセルを正と負の荷重に対応させ, 両者の減算により積和演算結果を求めた. 不揮発性アナログメモリとして FET タイプを想定し, Fig. 2 に示すように印加パルス幅  $t$  としきい値  $V_{th}$  変化の非線形特性を仮定し, これを電流値に変換してシナプス荷重を表現して, Q 学習モデルの学習性能を評価した.

**[実験結果]** FrozenLake-v1<sup>[2]</sup>タスクを用いたときの学習結果を Fig. 3 に示す. Fig. 2 の条件下では学習性能を著しく低下させることはないものの,  $V_{th}$  変化における飽和的な特性が顕著になると学習が収束するまでの学習回数が増加する傾向がみられた.

**[謝辞]** この成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) の結果得られたものです.

### [参考文献]

[1] M. Inada *et al.*, NOLTA, pp. 213–216 (2020).

[2] Frozen Lake-v1, OpenAI Gym, <https://github.com/openai/gym>

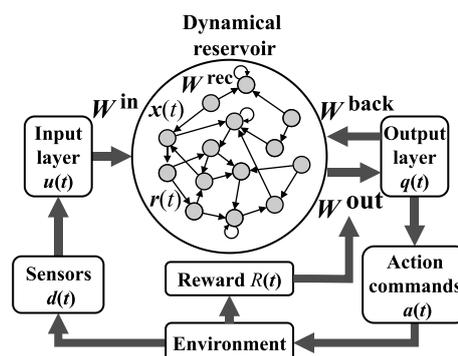


Fig. 1 Q-learning model based on reservoir computing.

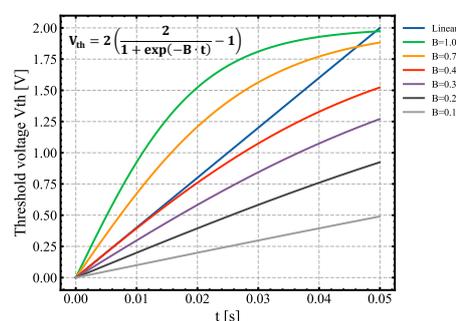


Fig. 2 Nonlinear characteristics in  $V_{th}$  change assumed in analog memory devices.

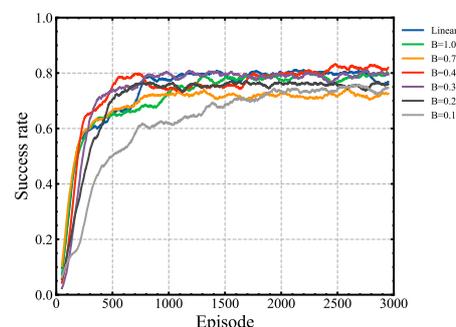


Fig. 3 Learning results for a Frozen Lake task.