

アナログ VLSI ニューラルネットワークのための Direct Feedback Alignment 学習の頑健性評価 Robustness Evaluation of Direct Feedback Alignment Learning for Analog VLSI Neural Networks

久留米高専¹, 九工大² ○(B)永松 直樹¹, 村上秀樹¹, 上ノ原 誠二², 森江 隆²

NIT, Kurume College¹, Kyushu Inst. Tech.²

○Naoki Nagamatsu¹, Hideki Murakami¹, Seiji Uenohara², Takashi Morie²

E-mail: hideki@kurume-nct.ac.jp

1. 背景・目的

エッジ AI の更なる発展には、推論だけではなく、学習も可能で、低消費電力・高速動作する AI ハードウェアが期待される。アナログ集積回路による実装は、有望な候補の一つであると考えられる。しかし、特に学習過程において、アナログ集積回路に用いられるアナログメモリ素子の特性ばらつきや信号に重畳されるノイズによる学習精度の低下が懸念される。

ニューラルネットの一般的な学習法である誤差逆伝播法 (Back Propagation: BP) は、出力層から入力層に向けて層ごとに誤差を逆伝播させることで学習のための勾配を与える。一方、Direct Feedback Alignment (DFA)[1] (Fig. 1) は、出力層で得られる誤差を、入力層までのすべての層のニューロンに直接渡し、固定乱数を逆伝播時の荷重として用いて、順方向の荷重更新を行う方法である。逆伝播時の荷重がもとより乱数であるため、アナログメモリ素子の特性ばらつきや、信号に重畳されるノイズ等の非理想的特性に対して頑健になることが期待される。

そこで本研究では、DFA における、これら非理想性に対する頑健性の評価を行った。

2. 実験方法

DFA をソフトウェアにて実装し、MNIST を用いて、BP と比較することで評価を行った。式(1)~(4)は、DFA における素子特性ばらつきやノイズを考慮した学習の式である。

$$e_k = y_k - t_k \quad (1)$$

$$\delta a_i = f'(S_i) \sum_k B_{ik} e_k \quad (2)$$

$$\Delta w_{ij} = \delta a_i x_j + N_{Tij}(t) \quad (3)$$

$$\Delta w_{ij}^{new} = w_{ij}^{old} - \eta \Delta w_{ij} N_{Fij} \quad (4)$$

ここで、 N_F は素子特性ばらつき、 $N_T(t)$ はノイズを表している。他の記号の意味は Fig.1 を参照されたい。

3. 実験結果・考察

中間層を 1 層、ニューロン数を 800 として、BP と DFA の学習実験を行った。BP では正解率 98.5%程度、DFA では 98%程度の結果となり、DFA においても BP と同等精度の学習が可能であることを確認した。

そこでアナログメモリ素子の特性ばらつきの影響に対する頑健性評価を行った。ばらつき N_F に対応する正規乱数の標準偏差 σ に対する正解率を Fig. 2 に示す。BP では $\sigma > 2$ で正解率が低下しているのに対し、DFA ではほとんど変化がない。この結果から、メモリ素子特性ばらつきに対する頑健性は、DFA を用いることで大幅に向上することが明らかとなった。

次に、 $N_T(t)$ に対する頑健性評価を行った結果、BP では、正解率の低下は約 1%程度で、十分頑健であることが分かった。DFA では、式(2)の B の固定乱数荷重値の範囲を十分大きくすることで BP と同程度の正解率が得られた。

4. まとめ

学習アルゴリズムとして、DFA を用いた場合では BP と比べて、素子特性ばらつきに対してより頑健であり、アナログメモリ素子での実装に適していることが明らかとなった。

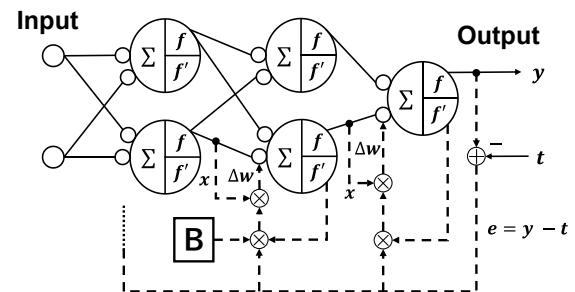


Fig. 1 Schematic diagram of DFA

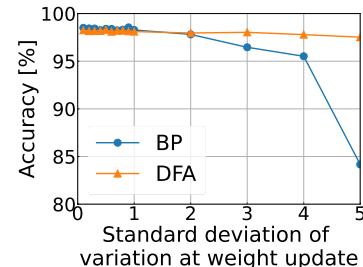


Fig. 2 Recognition accuracy of MNIST dataset for BP and DFA as a function of the standard deviation of the Gaussian random number corresponding to the variation

参考文献

[1] A. Nøkland. Advances in neural information processing systems, pages 1037–1045, 2016.