

M-23

連想記憶回路のための対称型 TSTDTP シナプス回路モデルの結合荷重値に対する一検討

A Study on Synaptic Weight of Symmetrical TSTDTP Synaptic Circuit Model for an Associative Memory Circuit

○菊池優作¹, 山口拓人², 佐伯勝敏³, 佐々木芳樹³Yusaku Kikuchi¹, Takuto Yamaguchi², Katsutoshi Saeki³, Yoshiki Sasaki³

Abstract: Spike Timing Dependent synaptic Plasticity (STDP) is useful for modeling neural networks. Especially, Triplet STDP (TSTDTP) depending on firing frequency of continuous spikes is occupied attention of the researcher. We examine the possibility of associative memory of images by incorporating a synaptic circuit model that uses the characteristics of symmetric TSTDTP as a learning rule in a hardware Hopfield network.

In this paper, we propose the hardware Hopfield network with characteristics of symmetric TSTDTP as a learning rule. As a result, it is shown that synaptic weight of the proposed network depend on the firing frequency.

1. はじめに

現在, 人間の脳の情報処理能力を工学に応用するために, 脳を構成するニューラルネットワークをモデル化する研究が行われている^[1]. 記憶は 2 つの細胞体間のシナプス強度によって維持されると言われている^[2]. 生理学実験によって, シナプスの前段に接続する細胞体 (以下, PRE) と後段に接続する細胞体 (以下, POST) の発火時間差と発火順序によって, 結合荷重値が変化していることが報告されている^[2]. さらに, 発振周波数により結合荷重値が変化する Triplet-STDP (Spike-Timing Dependent-synaptic-Plasticity) (以下, TSTDTP) が注目されている^[3].

本論では, ハードウェアで構成したホップフィールドネットワークに, 対称型 TSTDTP の特性を学習則としたシナプス回路モデルを組み込み, 画像の学習において周波数による結合荷重値の変化について検討を行った.

2. 本論

図 1 に, 今回学習則として用いた周波数に依存する対称型 TSTDTP シナプス回路モデルのシミュレーション結果を示す. 同図は, PRE と POST に他励振細胞モデルの発火を 3 回入力する条件で得られたもので, 図中, 横軸は POST の発火時間 T_{POST} と PRE の発火時間 T_{PRE} の発火時間差 $\Delta t = T_{POST} - T_{PRE}$ を, 縦軸は結合荷重値変化量を示している. 同図において, 発火の順序にかかわらず発火時間差の絶対値によって結合荷重値が変化していることを示している. また, 周波数が増加する, 結合荷重値変化量の変動が大きくなることを示している.

今回, 自己結合以外の全ての細胞体同士を相互接続したホップフィールドネットワークを用い, 図 2 のよ

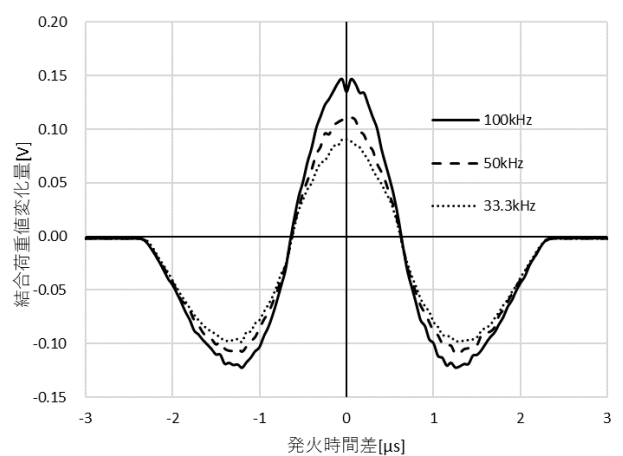


図 1 周波数に依存する対称型 STDP シナプス回路の発火時間差—結合荷重値変化量特性

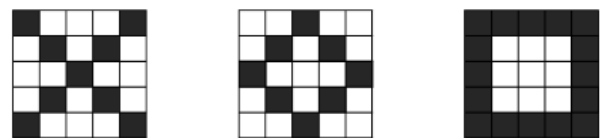


図 2 学習パターン

うな各細胞体モデルを 5×5 のマス目に対応させた 3 つの画像を学習させ, 結合荷重値を出力する.

図 2 の画像のマス目の色が黒の場合と白の場合で, 発火タイミングが $1 \mu s$ ずれるように, 他励振細胞モデルの出力に電流を入力する. 対称型 TSTDTP シナプス回路モデルの特性により, 結合荷重値は同色の場合に増加し, 異色の場合に減少する. 対称型 TSTDTP の特性を学習則としているため, 同一の組み合わせの細胞体同士ならば発火の順序によらず相互結合しているシナプスの結合荷重値は同じになる.

図 3 に結合荷重値出力回路のブロック図を示す. $N_1 \sim N_{25}$ に対応した他励振細胞モデルの出力を, ボルテ

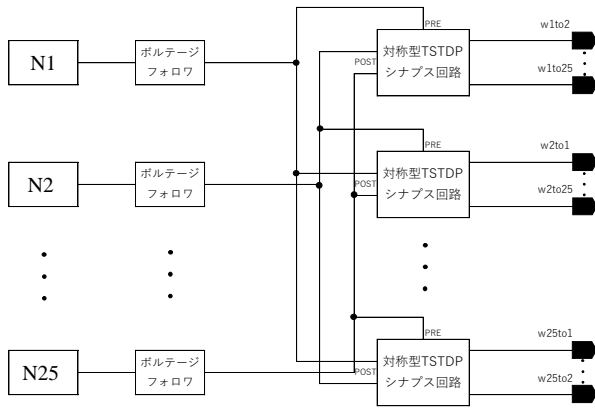


図3 結合荷重値出力回路

ージフォロワ回路を通し、対称型 TSTDTP シナプス回路の PRE と POST にそれぞれ接続している。例として、 N_2 を PRE, N_{25} を POST として入力した場合、結合荷重値は図中の w_{2to25} に出力される。よって、25 個の他励振細胞体モデルを接続することで合計 600 個の結合荷重値が出力される。

図 4, 5 に、それぞれ周波数が 50kHz と 100kHz のときの、PRE に N_{10} を、POST に $N_1 \sim N_9$, $N_{11} \sim N_{25}$ の発火波形を入力した場合の時間に対する結合荷重値 $w_{10to1} \sim w_{10to9}$, $w_{10to11} \sim w_{10to25}$ の推移のシミュレーション結果を示す。図中の各データの色は $w_{10to1} \sim w_{10to9}$, $w_{10to11} \sim w_{10to25}$ の推移をそれぞれ表している。図 2 の学習パターンに合わせ、各画像に対し結合荷重値の増加と減少が決定しているため、学習後の結合荷重値は 4 つに収束していることを示している。また、周波数が高いほど学習後の結合荷重値の変化量が増加していることを示している。このことより、周波数を考慮することで、白と黒の 2 値だけでなく、画像全体の色合いなどの情報が付加された画像を学習できると考えられる。

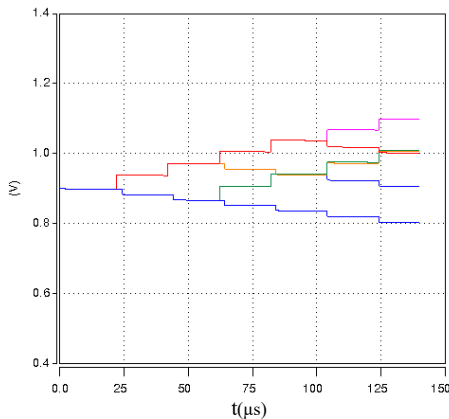


図4 N_{10} を PRE に入力し周波数を 50kHz とした場合の時間に対する結合荷重値変化量特性

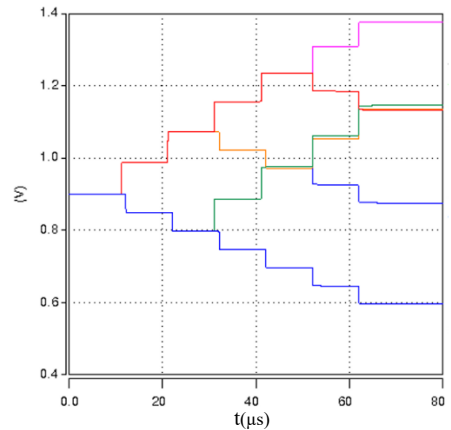


図5 N_{10} を PRE に入力し周波数を 100kHz とした場合の時間に対する結合荷重値変化量特性

3. まとめ

今回、ハードウェアで構成したホップフィールドネットワークに、対称型 TSTDTP の特性を学習則としたシナプス回路モデルを組み込み、画像の学習において周波数による結合荷重値の変化について検討を行った。その結果、周波数により学習後の結合荷重値を変化させられることを明らかにした。

今後は、出力した結合荷重値を用いて連想記憶回路を作製し、学習した画像に対するミスパターン画像を入力した際の元画像の連想記憶システムを完成させる予定である。また、結合荷重値が周波数によって変化することで白黒以外の画像の学習に応用できるか検討する。

4. 参考文献

- [1] Andrew S. Cassidy, Julius Georgiou & Andreas G. Andreou. "Design of silicon brains in the nano-CMOS era: Spiking neurons, learning synapses and neural architecture optimization" Neural Networks, Vol.45, No.1, pp.4-26, 2013.
- [2] Julijana Gjorgjieva, Claudia Clopath, Juliette Audet, & Jean-Pascal Pfister. "A triplet spike-timing-dependent plasticity model generalizes the Bienenstock-Cooper Munro rule to higher-order spatiotemporal correlations" Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol.108, No.48, pp.19383-19388, 2011.
- [3] Guo-qiang Bi, Mu-ming Poo "Synaptic Modifications in Cultured Hippocampal Neurons: Dependence on Spike Timing, Synaptic Strength, and Postsynaptic Cell Type", J.Neurosci, Vol.18, pp.10464-10472, 1998.