

M-2

発振周波数に依存する対称型 STDP シナプス結合荷重値制御回路に対する一検討

A Study on Synaptic Weight Control Circuit with Symmetrical STDP Dependent on Oscillation Frequency

○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. It is important to information processing in the human brain. Especially, triplet STDP(TSTDP) depending on firing frequency of continuous spikes is occupied attention of the researchers.

In this paper, we propose a symmetrical STDP synaptic circuit with frequency dependence. As a result, it is shown that oscillating frequency becomes lower, the synaptic weight increases in the synaptic weight variation on a positive region.

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]. これらの研究は, 脳の情報処理をシミュレートする方法が得られるだけでなく, 人間の脳の計算原理を解明する手助けにもなる.

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. また, 生理学実験によってシナプスの前半に接続する細胞体(以下, PRE)と後半に接続する細胞体(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, TSTDP)が注目されている^[3].

本論文では, 工学的応用を目的に, 回路シミュレーションにて対称型 STDP の結合荷重値が正の方向に変化する範囲で周波数依存性を持つシナプス結合荷重値制御回路について検討を行った.

2. 本論

図1に今回作成した対称型 STDP シナプス結合荷重値制御回路のブロック図を示す. 対称型 STDP シナプス回路の出力を基に, 対称型 STDP 興奮性強化回路で結合荷重値の増強成分を取り出す要素と, 結合荷重値制御回路で周波数によって得られた結合荷重値を変化させる要素で構成されている. これらの回路の動作原理を各セクションごとに分け以下に示す.

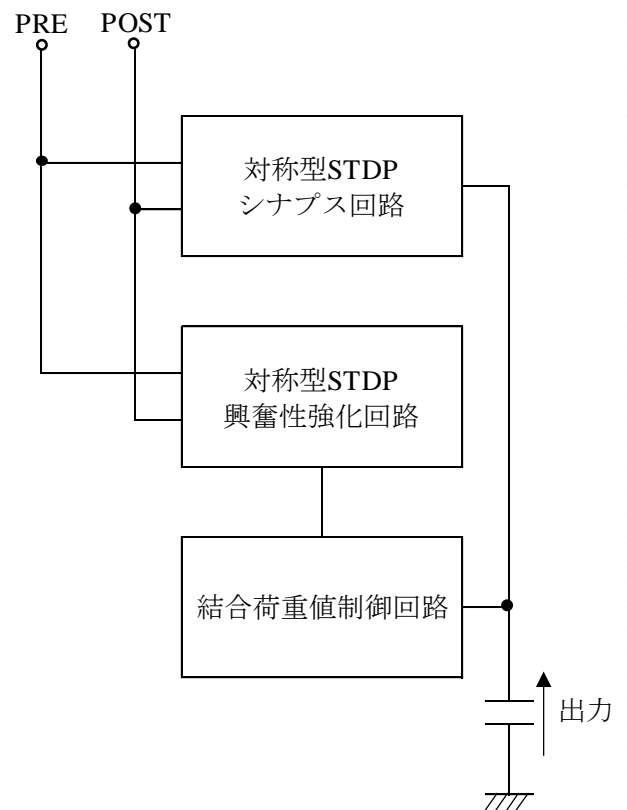


図1 対称型 STDP シナプス結合荷重値制御回路
ブロック図

2-1) 対称型 STDP シナプス回路モデル

図2に我々が先に提案した回路を基に製作した対称型 STDP シナプス回路^[4]のシミュレーション結果を示す. 図中, 横軸は POST の発火時刻 T_{POST} と PRE の発火時刻 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す. 同図は, 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.

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・院(前)・電子 3: 日大理工・教員・電子

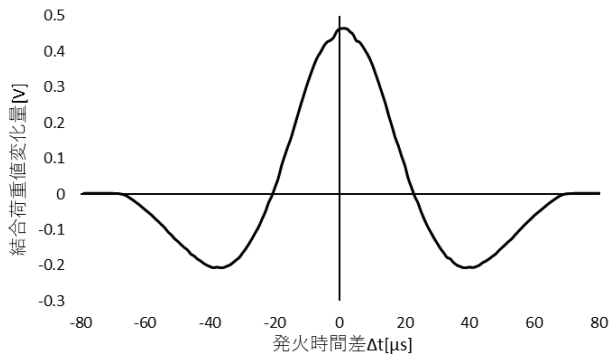


図2 発火時間差—結合荷重値変化量特性

2-2) 対称型 STDP 興奮性強化回路

図2に示した対称型 STDP シナプス結合制御回路にカレントミラー回路を付加し結合荷重値を強化する電流を取り出している。この電流を増幅することで対称型 STDP のシナプス結合荷重値を増強する成分のみを扱うことが可能となる。

2-3) 結合荷重値制御回路

PRE, POST 発火の立下りをダウンエッジ検出回路が検知し、結合荷重値制御回路内のコンデンサに電荷が蓄えられ、時間経過で電圧が減少する動作を行う。これより、PRE, POST 発火によりダウンエッジ検出回路の出力の直前のコンデンサの両端電圧を検知し OTA に入力する。PRE, POST 発火の周期によって OTA に入力される電圧の大きさが変化し、対称型 STDP 興奮性強化回路にて検知した電流を増減させる。

図3に図1に示した対称型 STDP シナプス結合荷重値制御回路のシミュレーション結果を示す。図中において、縦軸は結合荷重値変化量、横軸は発火時間差を示す。また、発火時間差が正の場合は PRE→POST, 負の場合は POST→PRE の順に発火している。図中のデータはそれぞれ PRE, POST 発火の周波数が 1.25kHz, 2.50kHz, 5.00kHz を示している。同図において、結合荷重値変化量が正のときのみ周波数によって出力電圧が変化しており、負のときには変化していない。また、発振周波数が大きいほど結合荷重値変化量が減少している。これは、対称型 STDP の興奮性シナプスにおいて結合荷重値の変化量が発振周波数に依存することを示している。ただし、発火時間差が 0s のときに結合荷重値変化量が大きくなる。これは、PRE→POST, POST→PRE それぞれの対称型 STDP 興奮性強化回路が同時に動作していることが要因だと考えられる。

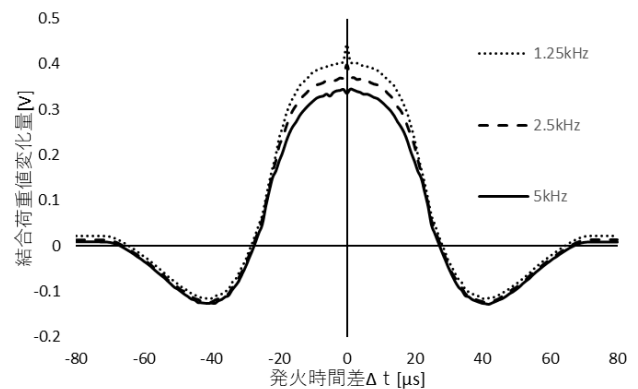


図3 周波数に依存する発火時間差—結合荷重値変化量特性

3. まとめ

今回、周波数依存性を持つ対称型 STDP シナプス結合荷重値制御回路の構築を行った。その結果、結合荷重値が正に変化する範囲で周波数依存性を持つことを明らかにした。

今後は、PRE と POST が同時発火した際の急峻な出力変化を補償する回路について検討する予定である。また、今回作製したシナプス結合荷重値制御回路を画像のパターン認識に応用する予定である。

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] 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.
- [3] 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.
- [4] 唐鎌侑馬, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹, "発振タイミングと発振周波数に依存した TSTDTP シナプスモデルに対する一検討" 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, M-26, pp. 1093-1094, 2018