

M-14

STDP を有した連想記憶モデルの抑制性シナプス回路に対する一検討

A Study on Inhibitory Synaptic Circuits of an Associative Memory Model with STDP

○新井田陽平¹, 渡邊晋吾², 佐伯勝敏³, 関根好文³

*Youhei Niida¹, Shingo Watanabe², Katsutoshi Saeki³, Yoshifumi Sekine³

Abstract: Synaptic plasticity in the living body, which is dependent on the order of and interval between pre- and post-synaptic spikes (STDP), has been observed by physiological experiments. Recently, many investigators have attempted to re-create associative memory using electronic circuits.

In the paper, we focus on a capacitor in inhibitory synaptic circuits, and make the capacitance value bigger than the previous circuit. As a result, it is shown that the recollection ability range was extended.

1. まえがき

人間の脳には情報伝達を行うニューロンが存在し、このニューロンはシナプスを介して互いに結合している。シナプスにはシナプス結合荷重が変化するシナプス可塑性^[1]があり、長期増強であるLTP(Long Term Potentiation)^[2]と長期抑圧であるLTD(Long Term Depression)^[3]が報告されている。また、シナプス可塑性には、ニューロンの発火タイミング、および時間差に依存して、シナプス前細胞と後細胞間のシナプスの伝達効率が変化する、STDP(Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)が報告されている^[4]。更に、LTP, LTD の領域が非対称型の時間窓や、メキシカンハット型の時間窓を示すことが報告されている^[3,4]。

先に我々は STDP を有するパルス形ハードウェアニューロンモデル(以下 P-HNM)を用いて ANN を構成し、記憶した情報を読み出す連想記憶モデルを提案した^[5]。

想起を行う上で、抑制性シナプスが関与しているという報告があり^[6]、連想記憶を工学的に応用するためには、抑制性シナプスのモデル化が重要である。今回、STDPを有した連想記憶モデルの抑制性シナプス回路について検討を行った。

2. 本論

Fig.1 に今回の検討に用いた STDP シナプス回路を有した連想記憶モデルを示す。図中、□,○,●,■は、それぞれ順に細胞体モデル, STDP シナプスモデル, 興奮性シナプス回路, 抑制性シナプス回路を示している。図中の自己連想ネットワークでは、細胞体 A~J(I は除く)それぞれに時間差のある刺激電流を入力し記録を行う。構成については STDP シナプス回路と非対称型の時間窓を示す結合荷重制御回路で細胞体モデル同士を相互結合した。相互連想ネットワークでは細胞体 AA~JJ(II は除く)それぞれに時間差のあるきっかけ刺激電流を入力し想起を行う。本モデルは、自

己連想ネットワークの構成に加えて、想起を行うために必要な回帰抑制をそれぞれの細胞体モデルと相互結合する構成とした。

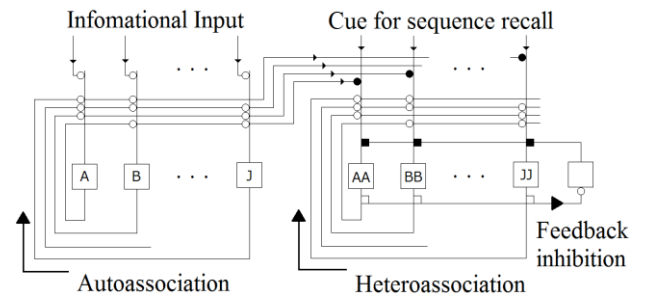


Fig.1 Associative memory model using STDP synapse circuit(Except cell I, cellII)

Fig.2 に Fig.1 の自己連想ネットワークにおける記録の波形を示す。図中、縦軸に細胞体モデルの出力電圧、横軸に時間を示している。波形左から細胞体モデル A,B,C,D,E,F,G,J の電圧を示しており、出力電圧が約 0.2V でピークになっている波形が細胞体モデル H の出力電圧を示している。すなわち、刺激電流は細胞体 H に入力していない。

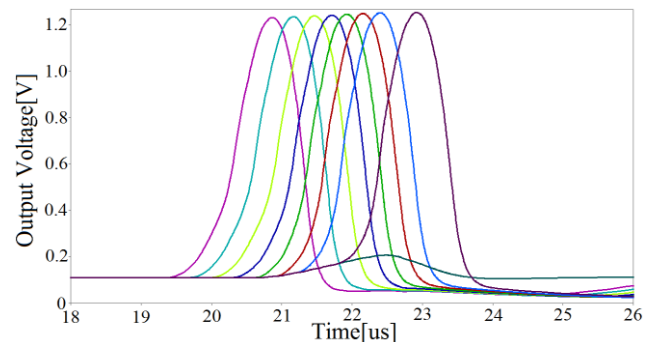


Fig.2 Memorization waveforms

Fig.3 に Fig.1 の相互連想ネットワークにおける想起の波形を示す。図中、縦軸に細胞体モデルの出力電圧、横軸に時間を示している。波形左から細胞体モデル AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, JJ の電圧を示しており、出力電圧

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院・電子 3 : 日大理工・教員・子情

が約 0.2V でピークになっている波形が細胞体モデル HH の電圧を示している。すなわち、きっかけ刺激電流は細胞体 FF 以外に入力した。

Fig.4 に抑制性シナプス回路を示す。図中 Ci はシナプス遅延である一次遅れ部を示しており、Mi2 と Mi3, Mi4 と Mi5 はカレントミラー構成を示している。想起をする上で、Mi5 によって引込電流を発生させて、制御を行い想起している。今回設計した MOSFET のアスペクト比(W/L)は、Mi1:3/3, Mi2:3/3, Mi3:1/3, Mi4:1/2, Mi5:6.7/1.1 とした。

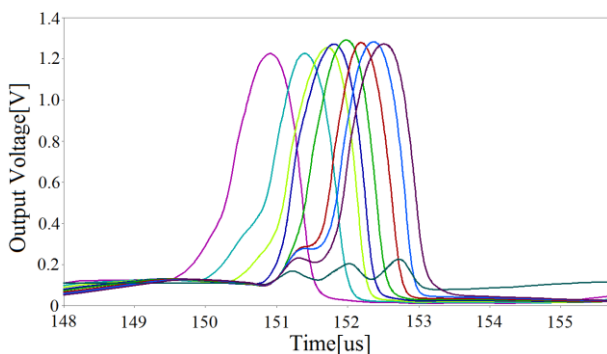


Fig.3 Recall waveforms

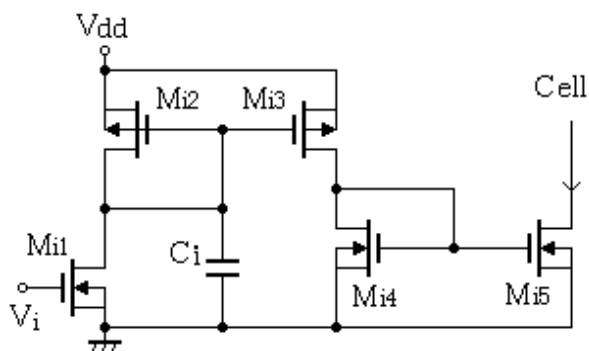


Fig.4 Inhibitory synaptic circuit

Fig.5 に細胞体 AA~JJ と細胞体 HH を回帰抑制を介して繋いだ場合の抑制性シナプス回路における引込電流の波形を示す。同図は、想起可能な引込電流の波形で、縦軸に引込電流、横軸に時間を示している。それぞれ波形は左から、回帰抑制を介した細胞体 AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, JJ の波形を示している。同図は、従来用いた回路パラメータ Ci=10.0[pF]の結果で、引込電流の最小値が 0.76 [μA]であることを示している。

Fig.6 に、Ci=13.2[pF]とし、Fig.5 と同様な引込電流の波形を示している。同図は、想起可能な引込電流の最小値が 0.51 [μA]となることを示している。Fig. 5,6 の条件において想起可能な引込電流の最大値は、1.66[μA]であり、引込電流の動作範囲が Ci を大きくすることで広がることを示している。このことは、抑制性シナプス回路中の容量値を大きくすることで、引込電流の動作範囲を広げ、想起可能な範囲が広がることを示している。

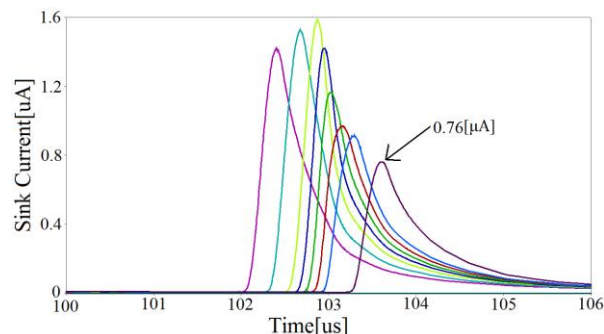


Fig.5 Sink current waveforms(Ci=10[pF])

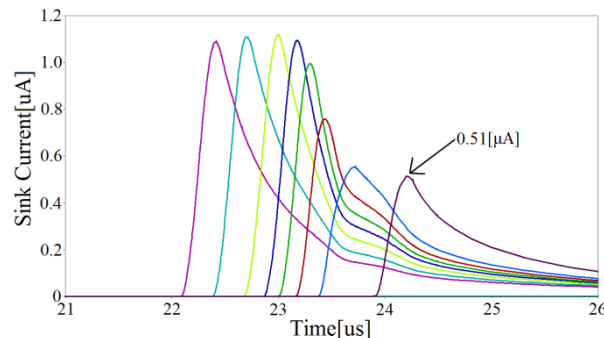


Fig.6 Sink current waveforms(Ci=13.2[pF])

3. まとめ

今回、STDP を有した連想記憶モデルの抑制性シナプス回路について検討を行った。その結果、抑制性シナプス回路中の容量値を大きくすることで、引込電流の動作範囲を広げ、想起可能な範囲が広がることを明らかにした。

今後は、配線も含め回路の簡略化について検討していく予定である。

4. 参考文献

- [1] M.E.hasselmo and C.Linster : "Neuromodulation and memory function, In Beyond neurotransmission", Oxford University Press, pp.318-348, 1999.
- [2] Bliss T.V.P and Lomo T. "Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of perforant path", The Journal of Physiology, Vol.232, pp.331-356, 1973.
- [3] Bi GQ, Poo MM, "Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons: dependence on spike timing, synaptic strength, and postsynaptic cell type", J Neurosci, Vol.18, pp.10464-10472, 1998.
- [4] Nishiyama, M. Hong, K. Poo, M-m, &Kato, K, "Calcium stores regulate the polarity and input specificity of synaptic modification", Nature, Vol.408, pp.584-588, 2000.
- [5] 守田敏春, 佐伯勝敏, 関根好文: 「STDP を有するパルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた連想記憶に対する一検討」, 電気学会全国大会講演論文集, No.3, pp17-18, 2011.
- [6] O Jensen and J E Lisman "Theta/gamma networks with slow NMDA channels learn sequences and encode episodic memory: role of NMDA channels in recall.", Learn. Mem, 3, pp264-278, 1996.