

M-35

二つの時間窓特性を示すシナプス結合荷重値制御回路を用いた ANN の記憶に対する一検討
 Memorization of Artificial Neural Network
 Using Synaptic Weight Control Circuit with Two Windows

○渡邊晋吾¹, 守田敏春¹, 佐伯勝敏², 関根好文²

*Shingo Watanabe¹, Toshiharu Morita¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine²

Abstract: Recently, the form of synaptic plasticity dependent on the order and time interval of pre- and postsynaptic spikes (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity) was observed in the hippocampus and cerebral cortex.

In this paper, we focus on two time windows (asymmetric time window and Mexican hat type window) in STDP, and we study the memory of the temporal sequences patterns using synaptic weights control circuit. As a result, we show that ANN using the synaptic weights control circuit stores temporal sequence output voltage patterns which conform to the temporal sequence input current patterns without the delay time for memory.

1. まえがき

人間の脳に存在し、情報の伝達を担うニューロンには、シナプス結合荷重が変化し、長期増強である LTP (Long Term Potentiation), 長期抑圧である LTD (Long Term Depression) が起こるシナプス可塑性という性質がある。このシナプス可塑性には、シナプス前・後のニューロンの発火タイミングに依存して、シナプス伝達効率が変化する、STDP(Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)がある。中でも、細胞体からの距離が近い海馬 CA3-c では LTP, LTD の領域が非対称型の時間窓^[1]や、細胞体からの距離が遠い海馬 CA3-a, CA3-b ではメキシカンハット型の時間窓が報告されている^[2]。

先に我々は、神経回路網の工学的応用を目指し、メキシカンハット型と非対称型それぞれによる時系列入力パルスの記憶に対する検討^{[3][4][5]}を行っている。しかしメキシカンハット型の時間窓を用いた場合には記憶に時間を要していた。

今回は、二つの時間窓特性を示す回路を用いて、記憶に対する検討を行った。

2. 本論

Fig.1 に、今回用いたシナプス結合荷重値制御回路を示す。図中、 D_{pre}, D_{post}, D_i はシナプス遅延である 1 次遅れ部をそれぞれ示し、 M_{pre2} と M_{pre3}, M_{pre4} と M_{pre5}, M_{post2} と M_{post3} はそれぞれカレントミラー構成でそれぞれのアスペクト比によって電流値を決定する。また M_{pre6} のゲート部はバッファに接続され、 M_{post4} は、インバータに接続されており、 V_{pre}, V_{post} は、細胞体モデルである pre, post のそれぞれの出力で、 V_{pre}, V_{post} が生じると、 C_{pre}, C_{post} の両端電圧が変化し、 M_{pre2} と M_{post2} に電流が流れ、結合荷重制御電圧 V_w が変化する構成とした。

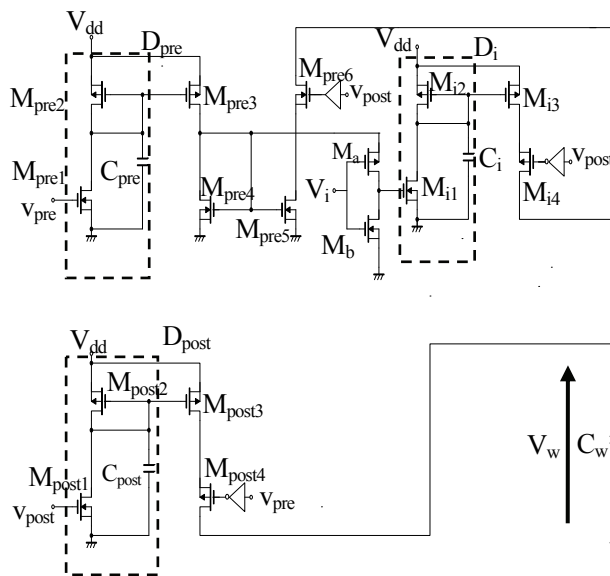


Fig.1 Synaptic weight control circuit

Fig.2 に、Fig.1 の回路を用いて得られた時間窓特性を示す。同図(a)は $V_i=3[V]$ で非対称型、(b)は $V_i=-3[V]$ でメキシカンハット型の時間窓特性を示す。

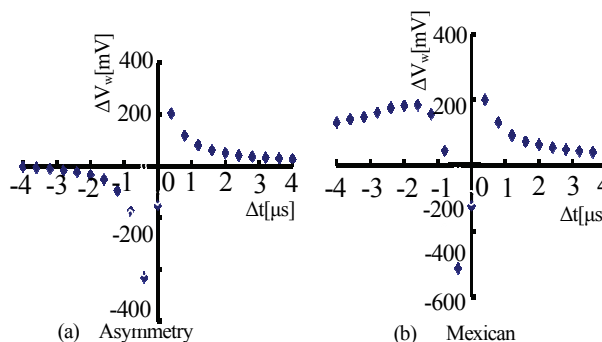


Fig.2 Time window characteristics

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・教員・子情

今回用いた ANN は、9 個の細胞体部を cellA~cellJ とし、STDP シナプス部により、各細胞体部が相互結合する構成とした。各細胞体部に対し、入力電流の時間差によって結合荷重制御電圧 V_w が、時間窓特性に依存して変化する。

Fig.3 に、ANN に入力した時系列パルスを示す。同図は横軸に時間、縦軸に入力電流の振幅を示す。時系列入力パルスは、各細胞体部に対し、不応期を考慮し 0.4[μ s]ごとの時間差を設け、入力周期 10[μ s]で入力した。

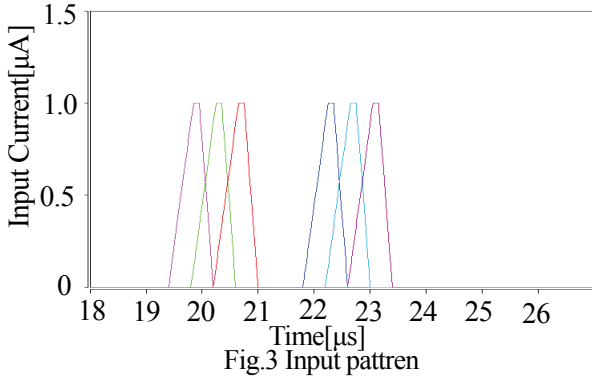


Fig.3 Input pattern

Table.1 に Fig.3 の入力パターンにおける STDP シナプス部の結合強度を示す。同表は、色の黒い領域が長期増強、白い領域が長期抑圧を示し、時間窓特性に依存した結果を示している。

Table.1 Combination strength

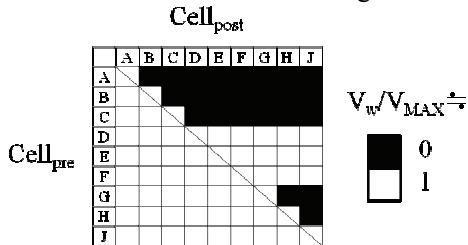
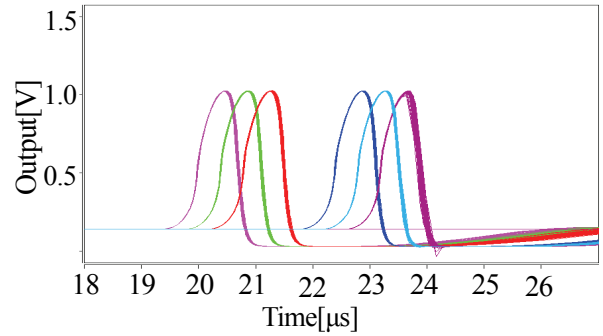
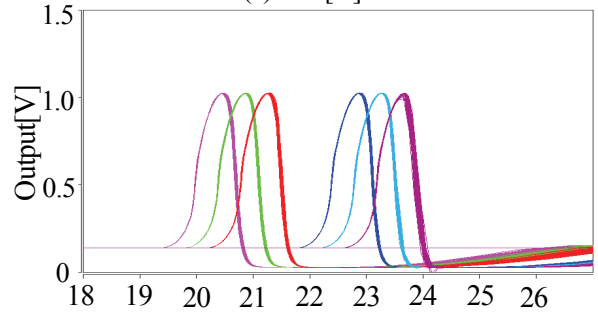


Fig.4 に、Fig.3 のパターンを入力した時の記録された ANN の出力を示す。同図は横軸に時間、縦軸に各細胞体部の出力電圧を示す。同図(a)は $V_i=3[V]$ とし、非対称型の特性を有するシナプス結合荷重制御回路を用いた場合の結果を示す。同図より、時系列入力パルスに対し、1[μ s]経過すると、記録できることを示している。同図(b)に $V_i=-3[V]$ の結果とし、メキシカンハット型の特性を有するシナプス結合荷重制御回路を用いた場合の結果を示す。同図より、非対称型と同様に、1[μ s]経過すると、記録できることを示している。

また、回路中の素子にバラツキを与えたモンテカルロシミュレーション(100 回)を行った結果、Fig.4 において素子のバラツキは素子値の $\pm 10\%$ で記録可能であった。また、ANN を 16 個の細胞体部を用いて構成した場合も同等の結果が得られた。



(a) $V_i=3[V]$



(b) $V_i=-3[V]$

Fig.4 Reply characteristic

3. まとめ

今回、二つの時間窓特性を示す回路を用いて、記録に対する検討を行った。その結果、どちらの時間窓を用いても記録できることを確認した。また、モンテカルロ解析によって素子のバラツキに対する解析を行った結果、どちらの時間窓においても、素子値 $\pm 10\%$ の範囲において入力パターンに応じた記録ができることを明らかにした。

今後は本モデルのレイアウトを行い、VDEC を通してチップ化し、実測評価を行う予定である。

4. 参考文献

- [1] G. Bi and M. Poo, "Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons, Dependent on spike timing synaptic strength, and postsynaptic Cell Type" J.Neurosci, 18, pp.10464-10472, 1998.
- [2] 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.
- [3] 清水亮, 佐伯勝敏, 関根好文, 「時系列パターンを保持可能な STDP を有するパルス形ハードウェアニューラルネットワーク」, 電学論 C, Vol.129, No.7, pp.1198-1204, 2009.
- [4] 柳直樹, 守田敏春, 佐伯勝敏, 関根好文, 「非対称型の特性を示す STDP を有する ANN の記録に対する検討」, 電子情報通信学会総合大会, 2010
- [5] 和田慶介, 佐伯勝敏, 関根好文: 「空間加算を考慮した歯状回-CA3 電子回路モデルに対する一検討」, 電気学会電子回路研究会資料, ECT-09-117, pp.47-52, 2009.