

パルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた dual network に対する一検討

A Study on Dual Network Using Pulse-type Hardware Neuron Model

○守田敏春¹, 佐伯勝敏², 関根好文²*Toshiharu Morita¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine²

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 the associative memory using electronics circuits.

In this paper, we propose a dual network using pulse-type hardware neuron model (P-HNM) with the STDP synapse for associative memory. As a result, it is shown that the synaptic weight changes depending on the input current patterns of temporal sequence pulses. Furthermore, it is shown that if the output stimulus is lacking, the proposed network model can recognize this by reading of input current patterns.

1. まえがき

学習や記憶は、ニューロンの結びつきによって情報が伝達していると考えられている。脳内におけるニューロン間の結びつきの変化、すなわちシナプス前ニューロンとシナプス後ニューロンにおける伝達効率に変化する、シナプス可塑性という性質がある^[1]。このシナプス可塑性には、長期増強や長期抑圧等があり、記憶や学習に重要な役割を持つと考えられている。また、ラットの海馬 CA3, CA1 などにおいて、スパイクの発生順序、および時間差に依存してシナプスの伝達効率が変化する、STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)が発見されている^[2]。

海馬に障害を受けると記憶の機能に重大な障害が生じることから、海馬が記憶と学習にとって必要不可欠なものであることが知られている。このため、海馬の特性を用いて、エピソード記憶、連想記憶、時系列記憶などの記憶に関する研究が行われており、様々なモデルが提案されている^[3]。中でも、連想記憶は、情報が欠けていても思い出すことができることから、工学的に有効であると考えられている。

本稿では、脳の情報処理機構を工学的に応用するため、海馬における記憶・学習に着目し、STDP シナプスを有するパルス形ハードウェアニューロンモデル (Pulse-type Hardware Neuron Model:P-HNM)を用いて、部分的な情報を手掛かりとして必要な情報を読み出す連想記憶について検討を行った。

2. 本論

Fig. 1 に、Jensen らが構成したネットワーク^[4]を基に今回構成したネットワークモデルの概略図を示す。図中、三角は細胞体モデルを示し、各細胞体モデル間を

STDP シナプス回路で結合している。また、○は回帰抑制部を示し、他の細胞体モデルへ抑制性シナプス回路で結合する構成とした。この STDP シナプス回路や抑制性シナプス回路によって、各ネットワーク内の細胞体モデル間の結合強度の変更や、干渉を打ち消すことができる。同図は、左側のネットワークを自己連想ネットワークとし、右側のネットワークを相互連想ネットワークとする。本モデルは、自己連想ネットワークに連続的に入力されたパターンを保持し、相互連想ネットワークへ学習を行わせる。これにより、相互連想ネットワーク内の細胞体モデル間のシナプス結合荷重制御回路の結合荷重制御値が変化し、STDP シナプス回路を流れる電流が変化する。その結果、入力されたパターンにしたがって結合荷重制御値が記憶され、連想記憶を形成するモデルである。

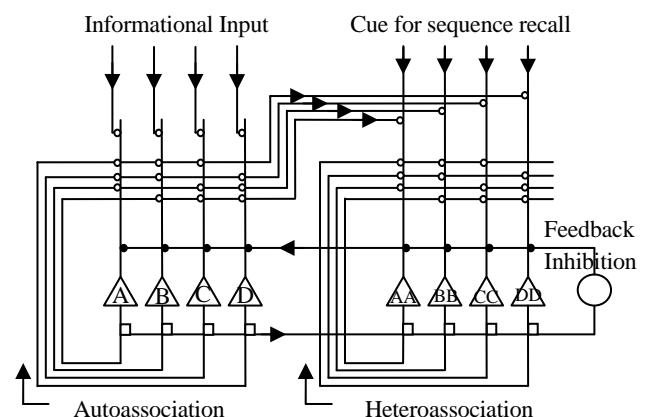


Figure1. Dual Network Model

Fig.2 に、自己連想ネットワークへの入力パターンの一例を示す。図中、横軸は時間を、縦軸は刺激電流を示す。同図は、入力パターンを $t_{(Istim-cellA)}=19.4[\mu s]$, $t_{(Istim-cellB)}=19.7[\mu s]$, $t_{(Istim-cellC)}=20.0[\mu s]$, $t_{(Istim-cellD)}=20.3[\mu s]$

のタイミング, および周期 $T=10[\mu s]$ を示している. 自己連想ネットワークに入力が加わると, 自己連想ネットワーク内の細胞体部が出力する. また, 細胞体モデルの出力がシナプス結合荷重制御回路に入力されることによって, その時間差に依存したシナプス結合荷重制御電圧が生成される.

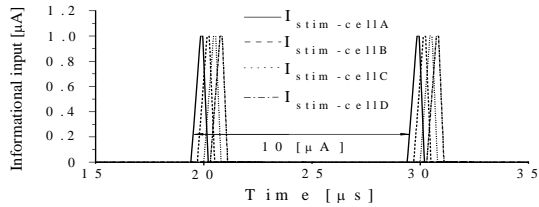


Figure2. An example of pattern of input

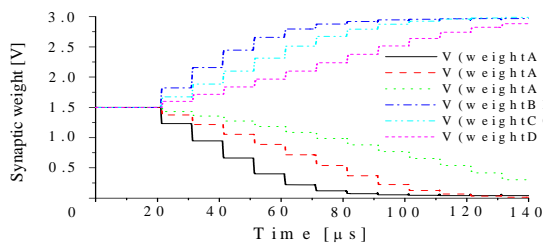


Figure3. Synaptic-weight

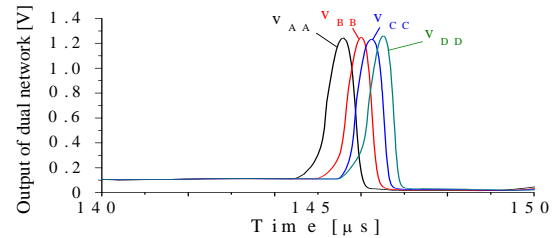
Fig.3 に, 相互連想ネットワークの各細胞体部モデルのシナプス結合荷重制御電圧を示す. 図中, 横軸は時間, 縦軸はシナプス結合荷重制御電圧を示す. 同図は, Fig.2 の入力パターンが自己連想ネットワークに加わり, シナプス回路を介して相互連想ネットワークへパターンが伝達された時の相互連想ネットワーク内における各細胞体モデル間に生じるシナプス結合荷重制御電圧の変化を示している. 相互連想ネットワークは, $140[\mu s]$ まで自己連想ネットワークからの入力のみのため, 相互連想ネットワークで記憶されたパターンに応じた細胞体モデル間の結合荷重制御値が変化している. このシナプス結合荷重制御電圧が変化することによって, シナプス回路に流れる電流が変動することから, 各細胞体モデル間の結合強度が変化していることが分かる.

また, 自己連想ネットワークへの入力を繰り返し加え, シナプス結合荷重制御電圧が変化した $140[\mu s]$ で入力パターンを加えることを止める. そして, 相互連想ネットワークにきっかけ刺激を加えることで連想記憶について検討を行った.

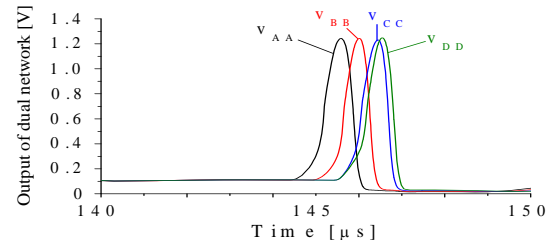
Fig.4 に, 相互連想ネットワークの応答特性を示す. 図中, 横軸は時間, 縦軸は相互連想ネットワーク内の細胞体部の出力電圧を示す. Fig.4(a)は, 相互連想ネットワークのすべての細胞体モデルに刺激電流を加えた時の出力波形を示している. 同図より, Fig.2 の自己連想ネットワークに加えたパターンと同様のパターンが

想起されていることを示している. また, (b)は, 刺激入力を AA, BB, DD の場合で行った. その結果, CC は入力していないにもかかわらず, 自己連想ネットワークの入力パターンが想起されていることを示している.

以上より, 自己連想ネットワークから相互連想ネットワークへ学習させたパターンを想起させるときに, 刺激電流が欠けていても, 想起できることを明らかにしている.



(a) Response of AA, BB, CC, DD spikes



(b) Response of AA, BB, DD spikes

Figure4. Output of association network in dual network model

3. まとめ

本稿は, 脳の情報処理機構を工学的に応用するため, 海馬における記憶・学習に着目し, STDP シナプスを有する P-HNM を用いて, 部分的な情報を手掛かりとして必要な情報を読み出す連想記憶について検討を行った. その結果, 入力パターンに応じて各細胞体モデル間の結合強度が変化し, 外部刺激が欠落している場合でも連想記憶として読み出せることを明らかにした.

今後は, 保持されていないパターンが入力された場合について検討を行っていく予定である.

4. 参考文献

- [1] M.E.hasselmo and C. Linster : "Neuromodulation and memory function, In Beyond neurotransmission", Oxford University Press, pp318-348, 1999.
- [2] Markram H., Lubke J., Frotscher M. and Sakkmann B : "Reguration of synaptic efficacy by coincidence of postsynaptic Aps and EPSPs", Science, Vol.6, pp9-16, 1196.
- [3] 内藤剛, 岩井俊哉, : 「dual network における系列学習の数値実験」, 電子情報通信学会, Vol.107, No.410, pp.37-42, 2007
- [4] Ole Jensen and John E.Lisman, "Theta/Gamma Networks with Slow NMDA Channels Learn Sequences and Encode Eposodic Memory:Role of NMDA Channels in Recall", LEAENING & MEMORY, vol3, pp.264-278, 1996.