

M-13

## ハードウェアニューロンモデルを用いた時空間的加重を加味した STDP 特性に対する検討 A Study on the STDP Characteristics by the Spatial-Temporal Summation Using the Hardware Neuronal Model

○大瀧光彦<sup>1</sup> 大場健太<sup>1</sup> 関根好文<sup>2</sup>\*Mitsuhiko Otaki<sup>1</sup>, Kenta Oba<sup>1</sup>, Yoshifumi Sekine<sup>2</sup>

Abstract: In the research on the synaptic plasticity which is a basic process of learning function, STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity) generates between an input of pre-synaptic neuron and back-propagation of action potential to dendrite of post-synaptic neuron by physiological experiments. The purpose of our research is construction of the electronic circuit model that can cause STDP which is the learning function of a living body. In this paper, we examine firing characteristic for the time lag of two inputs and changing characteristic of synaptic weight when the model outputs a pulse in higher than two inputs.

### 1. まえがき

我々はニューラルネットワークの学習則に、近年、生理学知見で明らかにされた STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)<sup>[1-2]</sup>を取り入れた非同期型のハードウェアの学習モデルの構成を目的に、ハードウェアニューロンモデルを用いて生体の脳の局所情報処理の 1 つである学習機能を明らかにするために研究を行っている。現在までの検討では 1 つの前ニューロンからの入力では必ずニューロンモデルが発火するような状態で検討を行ってきた。今後、学習モデルを構成する際、入力が小さい場合や入力の時空間的加重が考えられるため、ニューロンモデルの挙動を検討する必要がある。

本稿では、複数の前ニューロンからの入力を加えた際の時空間的加重を加味し、樹状突起モデルの活動電位の変化について検討を行った。

### 2. ハードウェアニューロンモデル

図 1 に今回検討に用いたニューロンモデルを示す。

本モデルは細胞体モデル (以下 CM) と樹状突起コンパートメントモデル (以下 CP<sub>DM</sub>) を 9 個縦列接続したものを 2 つ並列に接続した樹状突起モデル (以下 DM) で構成した。ここで並列接続した 2 つを DM<sub>1</sub>、DM<sub>2</sub> とし、それを構成する CP<sub>DM</sub> をそれぞれ CP<sub>DM1,j</sub>、CP<sub>DM2,j</sub> とした。本モデルは DM に刺激電流が入力され、CM へ伝搬する。この時、DM の「細胞体と樹状突起、どちらに刺激を加えても細胞体が先に発火する」特性により DM は活動電位が上昇するがパルスは出力せず、先に CM がパルスを出力し、DM へパルスが逆伝搬する。その時、刺激電流によるシナプス後電位と逆伝搬してきて発生した活動電位とのタイミングによりシナプスモデルのシナプス結合荷重値が変化し、DM の活動電位が変化するモデルである。今回の検討では、CP<sub>DM</sub> への入力は伝搬後、CM がパルスを出力しない程度の入力を用い、入力の時空間的加重に対する、DM の活動電位の変化について検討を行った。なお、今回もっとも単純な時空間的加重として 2 入力での検討を行った。

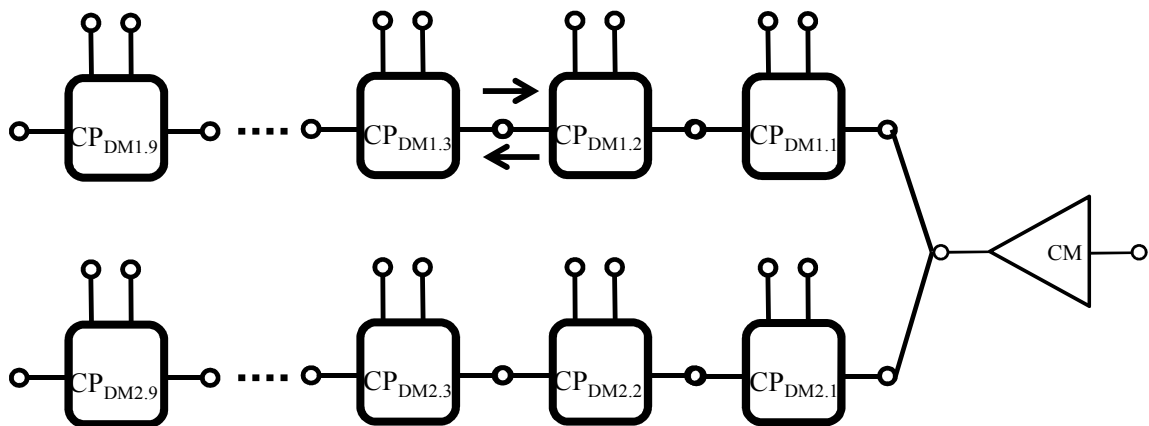


Figure 1. Schematic diagram of neuron model.

### 3. 時空間的荷重による活動電位の変化

図 2 に 2 入力の入力時間差に対する CM の活動電位の振幅特性を示す. 図中, 横軸は 2 入力の入力時間差  $\Delta t_{in}$ , 縦軸は CM の活動電位の振幅  $v_{C2}$  から発火していない状態での CM の電位  $v_{C2,0}$  を引いたものを示している. 同図は, 1 つでは発火しない入力でも 2 入力の時空間的加算により  $\Delta t_{in}$  が小さい場合 CM がパルスを出力することを示している.  $0.15 \sim 0.3[\mu s]$  では最初の入力では CM が発火せず, そのあとの入力により閾値を超えるはずであるが CM の持つ不応期を脱していないため後の入力を加えても発火しない.

図 3 に  $\Delta t_{in} = 0.1[\mu s]$  の DM の活動電位の一例を示す. 同図は  $\Delta t_{in}$  が短いことから両 DM で LTP を誘発していることを示している. また, 入力に時間差があることから, LTP による振幅の変化量が異なることを示している.

図 4 に  $\Delta t_{in} = 0.3[\mu s]$  の DM の活動電位の一例を示す. 同図は,  $CP_{DM1.3}$  では LTP が発生せず  $CP_{DM2.3}$  のみ LTP

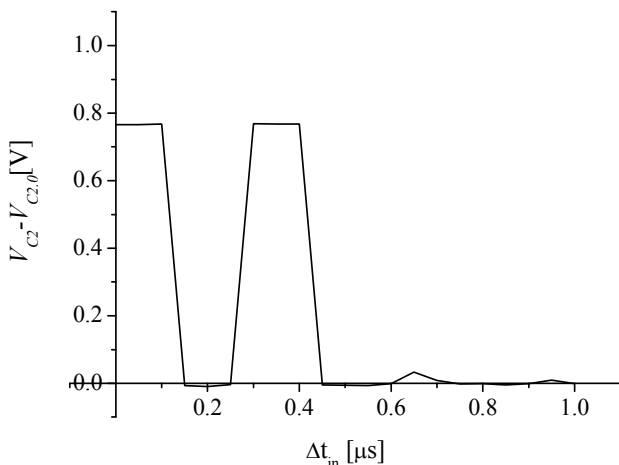


Figure 2.  $\Delta t_{in}$  vs  $v_{C2} - v_{C2,0}$ .

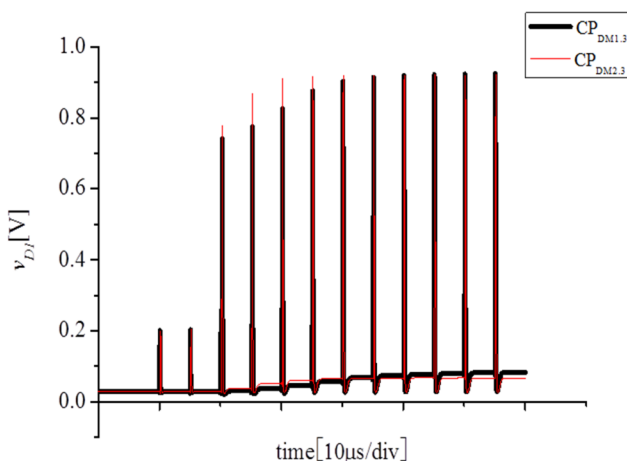


Figure 3. Firing waveform of  $\Delta t_{in} = 0.1[\mu s]$ .

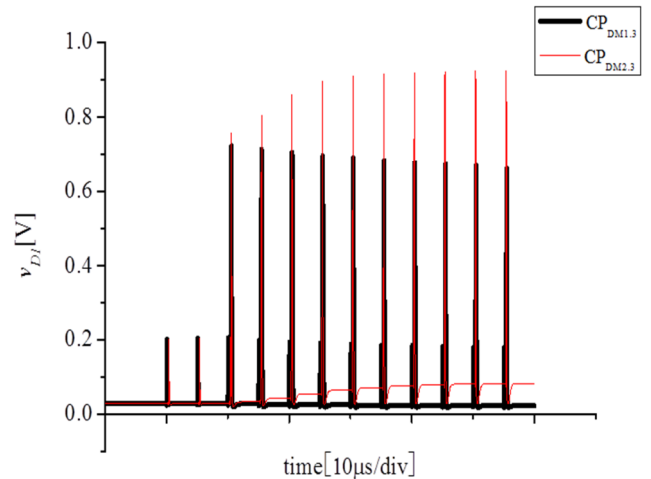


Figure 4. Firing waveform of  $\Delta t_{in} = 0.3[\mu s]$ .

が誘発していることを示している. 同図は CM が発火するタイミングが  $CP_{DM2.3}$  の入力により発火したため  $CP_{DM1.3}$  への入力と逆伝搬してきた活動電位の中に十分な時間があり LTP が誘発せず,  $CP_{DM2.3}$  のみ LTP が誘発することを示している.

### 4. まとめ

今回ハードウェアニューロンモデルを構成し, 1 入力では CM が発火せず 2 入力以上で発火する場合の 2 入力の時間差による活動電位の変化について検討を行った. その結果, 1 入力では発火しない入力でも不応期で発火しない場合はあるが複数入力の時空間的加算により, CM が発火し, 時間差に応じて活動電位が変化することを示した.

今後は, 本モデルを用いて局所情報処理について検討していく予定である.

### 5. 参考文献

- [1] G. Bi and M. Poo: "Synaptic Modifications in Cultured Hippocampal Neurons: Dependence on Spike Timing, Synaptic Strength, and Postsynaptic Cell Type", The Journal of Neuroscience, Vol.18, pp.10464-10472, 1998.
- [2] Nishiyama. M, Hong K, Mikoshiba K, M. Poo, and Kato K: "Calcium stores regulate the polarity and input specificity of synaptic modification", nature, vol48, 584-588, 2000.
- [3] 大瀧光彦, 関根好文: 「種々の STDP 特性を誘発可能な能動的樹状突起ハードウェアモデル」, 電気学会, 電子回路研究会資料, ECT-11-012, 2011