

## 非対称形 STDP 特性を持つシナプスモデルを取り入れた パルス形ニューラルネットワークの開発

### Development of Pulse Type Hardware Neural Networks incorporating the Synaptic Model with Asymmetric STDP-like Characteristics.

○小原正也<sup>1</sup>, 阿部水樹<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>

\*Masaya Ohara<sup>1</sup>, Mizuki Abe<sup>2</sup>, Minami kaneko<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>

Abstract: In recent years, Artificial neural networks has been used in various fields. We think that application of Pulse-Type Hardware Networks (P-HNN) is useful for speeding up the processing and downsizing the scale. The purpose of our research is the development of P-HNN incorporating the learning rule of the living body. STDP is an important characteristic of biological learning. Previously, we have developed a synaptic model with STDP. In this paper, we report on the development of P-HNN which connects the cell body model and the synaptic model above.

#### 1. まえがき

近年 Artificial Neural Networks(ANN)は画像認識などの様々な分野で活躍している. ANN の主流はソフトウェアモデルであるが, ディープラーニングなどに代表される大規模 ANN は情報処理が膨大になり, コンピュータへの負荷が大きい. 我々は情報処理, 学習が可能なパルス型ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNN)の開発を目的に研究をおこなっている. P-HNN の応用は情報処理の高速化や小型化において有用であると考えられる.

生体の学習及び記憶において, シナプス前ニューロンとシナプス後ニューロンの発火のタイミングによってシナプス伝達効率が変化する STDP(spike-timing dependent plasticity) が報告されている. また, 繰り返し行われるニューロンの発火により結合強度を継続的に増加させる LTP(long-term potentiation)および, 減少させる LTD(long-term depression)も学習において重要な現

象であると報告されている. [1]

我々は以前の研究で STDP 特性の得られるシナプスモデルを提案した. [2]そして本稿ではシナプスモデルに細胞体モデルを追加した P-HNN を開発したので報告する.

#### 2. STDP 特性を持つシナプスモデル

Figure1 に今回構成した電子回路モデルを示す. MOSFET は  $M_{1-6}$ ,  $M_{12}$ に BSS83,  $M_{7-11}$ に BSH205, オペアンプはすべて RC4558 を用いた. 各回路定数は  $C_1, 2=7[\text{nF}], C_3=10[\text{nF}], R_{1,2}=200[\text{k}\Omega], R_{3-6}, R_{9,10,15,17}=1[\text{M}\Omega], R_{7,8}=100[\text{k}\Omega], R_{11,13,14,16,18}=10[\text{k}\Omega], R_{12}=5[\text{k}\Omega], V_{\text{DD}}=3[\text{V}]$ とした.

図中 A 部はコンデンサ  $C_3$  を充電, 放電することでその端子間電圧  $V_C$  が STDP 学習則に順じた電圧を出力する. 図中 B 部は  $M_5, M_6$  のゲート電圧( $V_C$ )が 2.5[V]以上では興奮性, 以下で抑制性シナプスとして振る舞

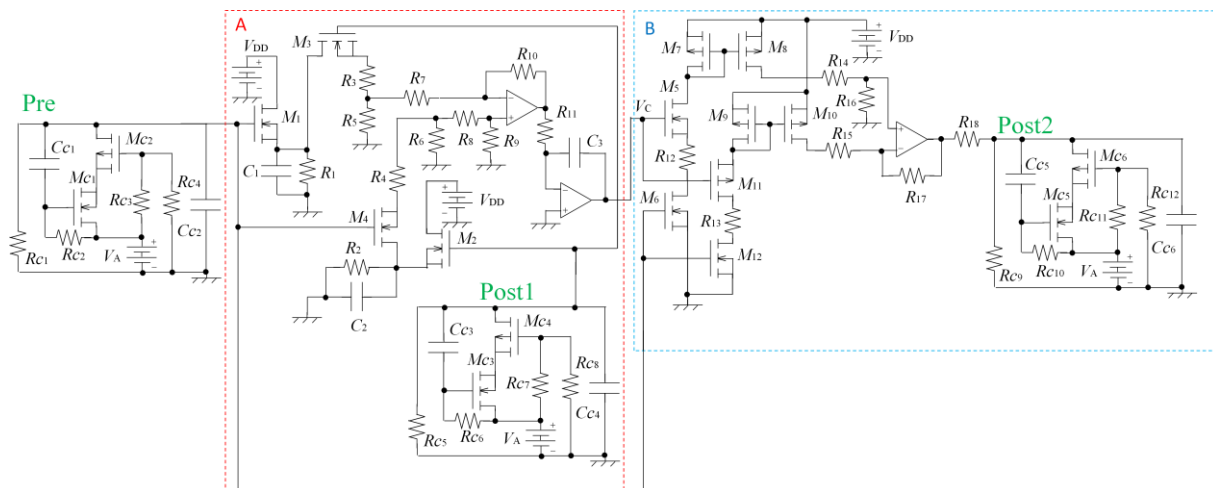


Figure1. Electronic circuit with STDP-like characteristic and Variable synaptic circuit

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

う、結合係数が M5, M6 のゲート電圧に依存するシナプスモデルである。

細胞体モデルには  $\Lambda$  型ニューロンモデルを用いた。[3] シナプス前細胞である Pre, 後細胞である Post1 はパルス幅 10[ms], 出力電圧 3.0[V] の他励振の細胞体モデルである。また、本来であれば STDP は Post の信号をシナプスに逆伝搬してその結合係数を変化させる。しかし今回は Post に対する Pre の影響力の変化を簡易的に観測するために、入力用の Post1 と信号を受け取る役目を持つ Post2 に役割を分担した。

以下 Figure1 の回路の特性についてシミュレーションにより検討した。

### 3. 特性のシミュレーション結果

Figure2 に本回路から得られた STDP 特性を示す。横軸は Pre に対する Post1 発火間隔, 縦軸は  $V_C$  の増加量を表している。これにより  $\Delta t$  が  $\pm 10$ [ms] の間で STDP 特性が得られることを確認した。

Figure3 に  $V_C=3.0$ [V] から  $\Delta t=1, -1$ [ms] で発火周期 20[ms] の教師信号入力し, このときの Post2 の出力電圧を示す。これより段階的に LTP, LTD を誘発している

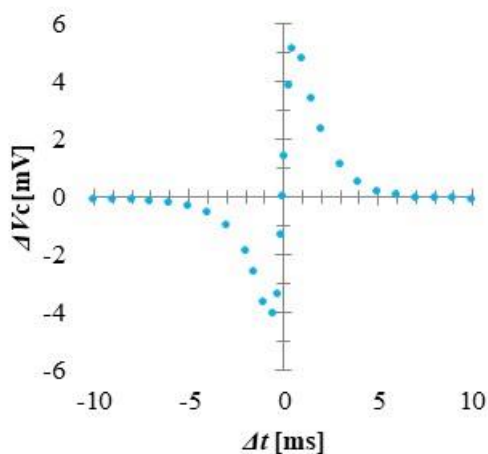


Figure2. STDP-like characteristic

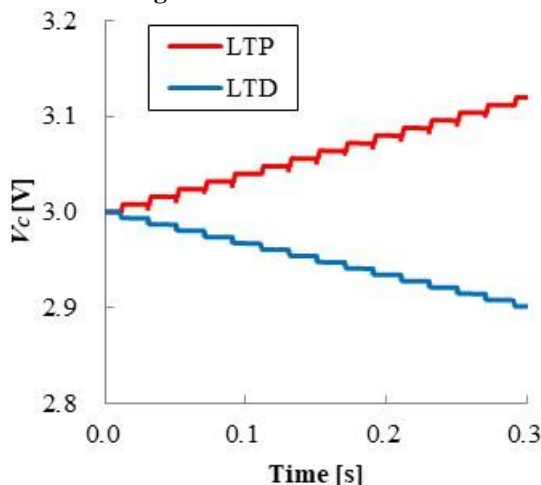


Figure3. LTD and LTP starting from 3[V]

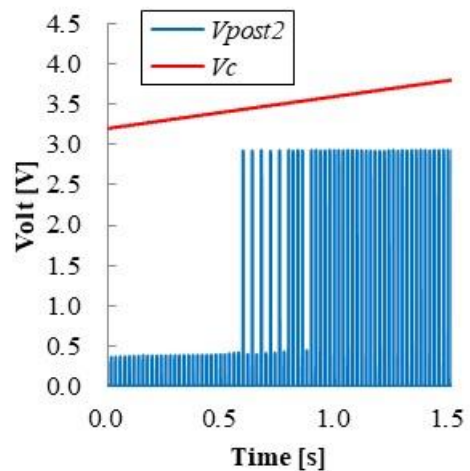


Figure4. LTP and output voltage of Post 2

ことを確認した。

Figure4 に  $\Delta t=1$ [ms] で発火周期 20[ms] の教師信号入力し, LTP を発生させた時の Post2 の電圧  $V_{Post2}$  を示す。また, コンデンサの初期端子間電圧を  $V_C=3.2$ [V] としてシミュレーションを行った。この結果 Post2 は  $V_C$  が 3.5[V] を超えてから安定して発火し続けることが確認できた。これは  $V_C$  の電圧が大きくなることで Pre からこの信号の影響が大きくなり, 1 回の発振で Post2 の閾値を超える外部刺激が入力されたためと思われる。

### 4. まとめ

今回 P-HNN による細胞体モデル(Pre 及び Post)を本回路により接続してシミュレーションにより動作を確認した。結果 Pre と Post1 の動作によって LTD, LTP が発生し Post2 への影響力が変化したことを確認した。今後は STDP 学習則を取り入れた階層型ニューラルネットワークを検討する予定である。

### 5. 参考文献

[1] 阿部・高藤・内木場・齊藤:「階層型ニューラルネットワーク用の STDP 特性を誘発可能な電子回路モデルの開発」, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-10(2016).

[2] 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, Vo118, pp.10464-10472(1998).

[3] 関根・隅山・佐伯・合原:「エンハンスメント型 MOSFET による  $\Lambda$  型ニューロンモデル」, 電気情報通信学会論文誌, Vol. J84-C, No. 10, pp. 988-994, (2001)