

M-12

ニューラルネットワーク構成のためのニューロン構成要素のモデル化

Component models of a neuron for neural network and its application.

○大瀧光彦, 関根好文

*Mitsuhiko Ootaki¹, Yoshifumi Sekine²

Abstract: The brain of a living body has higher-order information-processing functions, and in order to clarify the function, many researches by physiology experiment are advanced. We study a pulse type hardware neural network for the purpose of application of the engineering of the higher-order information processing function of the living body. In this paper, we suggest the model of the component of the neuron that is cell body dendrite synapse axon.

1. まえがき

我々は生体の高次情報処理機能のハードウェアによる工学的応用を目的にパルス形ハードウェアニューラルネットワークについて研究を行っている。パルス形ハードウェアニューラルネットワークを構成するために生体のニューロンの主な構成要素として考えられる細胞体, 樹状突起, 軸索, シナプスを其々モデル化し, ニューロンモデルの構成を容易化することが重要である。

本稿では, ニューロンの構成要素として考えられる細胞体, 樹状突起, 軸索, シナプスのハードウェアモデルをそれぞれ提案し, ニューロンモデルの一例として学習の基礎過程である STDP に着目したニューロンモデルを構成し, 検討を行った。

2. 各構成要素のモデル化

図 1 に 1section の能動的樹状突起モデルを示す。能動的樹状突起モデルは N 個の section で構成しており, 細胞体モデルから近いほうから $1 \sim N$ section とした。1section の能動的樹状突起モデルは他のニューロンからの出力パルスを受け取る receptor 部と各 section 間や樹状突起モデルと細胞体モデルを繋ぐ双方向の接続部で構成している。receptor 部は細胞体モデルに樹状突起の特性の 1 つである時間的減衰特性のための M_{sij} を接続した構成である。接続部は $M_{\alpha 1} \sim M_{\alpha 4}$ から成る α 回路と $M_{\beta 1}, M_{\beta 2}$ から成る β 回路で構成した。同モデルは他のニューロンの出力パルスが軸索, シナプスを介して電流に変換され S_{outij} 端子に入力される。その入力電流により樹状突起モデルの活動電位 V_{mj} が発生し, 接続部の α 回路を通り細胞体モデルまで伝搬する。また, 細胞体モデルで発生した活動電位が接続部の β 回路を通り樹状突起モデルを逆伝搬するモデルである。 G_{M2j} 端子にはシナプス間隙部からの伝達効率の変化を決定するトリガ電圧 V_{M2g} が入力され, V_{M2g} に対して, V_{mj}

の振幅が変化する。

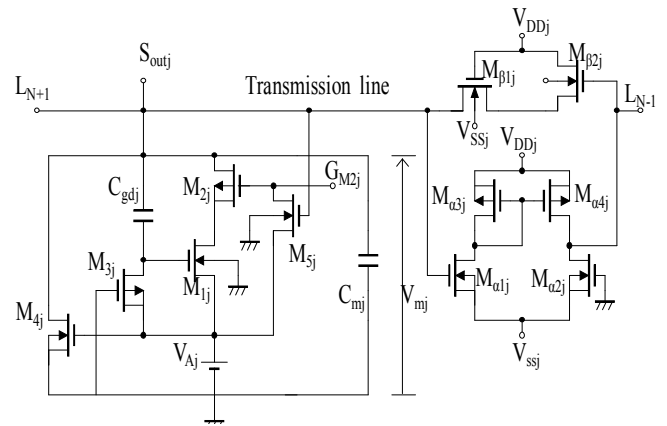


Figure 1. 1section of active dendrite model.

図 2 に興奮性シナプスモデルのブロック図を示す。興奮性シナプスモデルは伝達効率の変化を決定するゲート電圧制御回路と抑制性入力検出回路で構成した伝達効率制御部と, 時空間的加算特性を持ち, 電圧/電流変換を行う興奮性シナプス部で構成した。本モデルは軸索モデルの出力電圧 V_{axn} が興奮性シナプス部を通り, 刺激電流として Transmission line に入力される。また, 伝達効率制御部には V_{axj} と V_{mj} が入力される。この 2 つの入力のタイミングにより伝達効率制御部が V_{M2g} を発生させ, receptor 部に入力する。ここで, V_{axj} と V_{mj} の発生時間を其々 t_{pre} , t_{post} とする。

図 3 に 1section の軸索モデルの回路図を示す。同モデルは細胞体の出力パルスを受け, それをシナプス間隙モデルへ伝搬させる遅延線の役割をしている。また同モデルは section 数を増やすことで遅延時間を調節できるモデルである。

3. 構成例

図 4 に, 構成例として学習の基礎過程である STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity) を誘発するニューラルネットワークのブロック図を示す。

1: 日大理工・院 (前)・電子 2: 日大理工・教員・子情

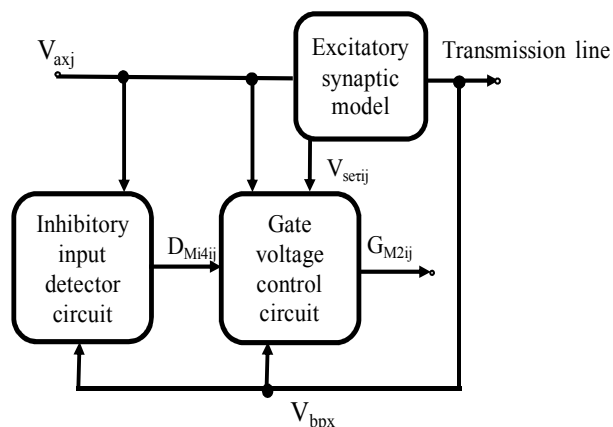


Figure 2. Schematic diagram of synaptic cleft model.

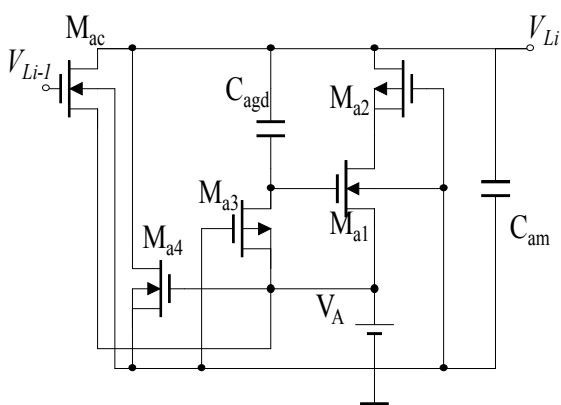


Figure 3. 1 section of axon model.

本ネットワークは、複数の section から成る能動的樹状突起モデル、細胞体モデル、軸索モデル、興奮性シナプスモデルを接続した構成である。本ネットワークは V_{axj} と V_{mj} が興奮性シナプスモデルへ伝搬し、2つの入力のタイミングにより伝達効率の変化し、STDP を誘発する構成である。また、細胞体モデルで発生したパルス電圧が軸索モデル、興奮性シナプスモデルを通り、その出力が次のニューロンの入力となる構成である。

図 5 にネットワークの STDP 特性の一例を示す。図中、横軸は $\Delta t = t_{post} - t_{pre}$ [μs]、縦軸は V_{mj} を Pre 端子に入力がない状態の振幅 $V_{m,0}$ で正規化した値を示している。同図は、本ネットワークが生理学実験で明らかにされている STDP 特性を誘発できることを示している。

4. まとめ

今回、ニューラルネットワークを構成するためにニューロンの構成要素として考えられる細胞体、樹状突起、シナプス、軸索の各モデルを提案し、一例として STDP 誘発可能なニューロンモデルを構成し、検討を行った。その結果、各要素モデルを組み合わせるにより、ニューロンモデルを容易に構成でき、任意の特性を誘発できることを明らかにした。

今後は今回提案した各要素モデルを用いてニューラルネットワークを構成していく予定である。

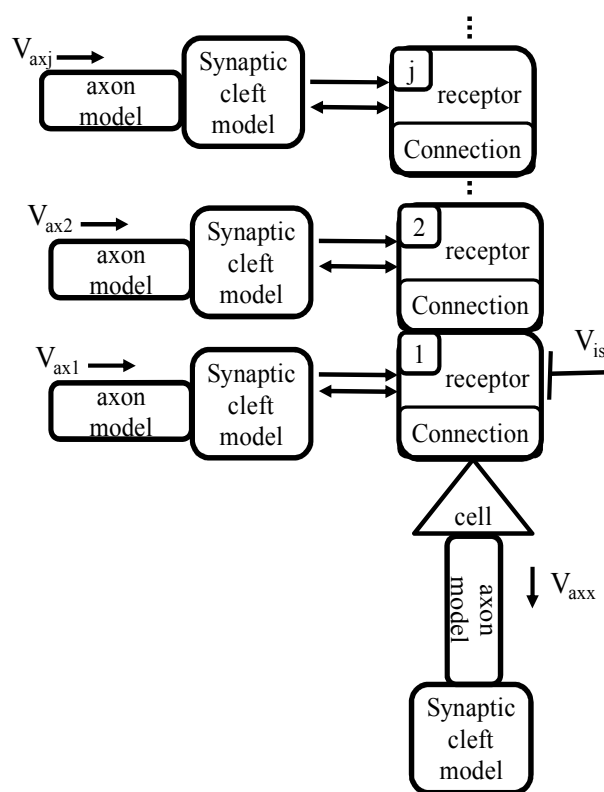


Figure 4. Schematic diagram of a neuron model.

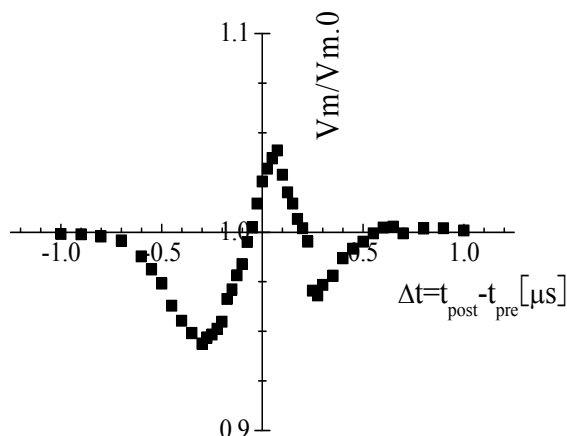


Figure 5. Characteristic of STDP.

謝辞 本研究の一部は日本大学学術研究助成金（総合研究「総 11-002」）の援助を受けて行われた。

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, 18, 10464-10472 1998.
- [2] Nishiyama.M, Hong K, Mikoshiba K, Poo M-m, and Kato K: "Calcium stores regulate the polarity and input specificity of synaptic modification", nature, vol48, 584-588, 2000.