

結合荷重値を用いた細胞体モデルの発火周波数に対する一検討 A Study on the Firing Frequency of Cell Body Models Using Synaptic Weight

○菊池優作¹, 山口拓人², 佐伯勝敏³Yusaku kikuchi¹, Takuto Yamaguchi², Katsutoshi Saeki³

Abstract: In order to reproduce the learning function of the human brain, research is being conducted to model the neural networks that make up the brain. In a previous study, a hardware Hopfield neural network was proposed to enable simultaneous learning and memory recall of multiple images, but it is unable to learn images other than the two black-and-white images because the binary state of whether the cell body model is firing or not corresponds to the black-and-white state of the training image as a method of recall. The images other than black-and-white cannot be learned.

In this paper, we examine the extent to which the synaptic weight affects the firing frequency of the cell body model whose firing is induced by the recall, with the aim of increasing the number of color types of images that can be learned. As a result, it is shown that the firing frequency changed in the range of 847 kHz to 4.95 MHz as the mean value of the synaptic weight changed.

1. はじめに

人間の脳の学習機能を再現するために、脳を構成するニューラルネットワークをモデル化する研究が行われている^[1]。脳の学習は発火という電気信号を通じて行われており、細胞体同士のつながりの強度を示す結合荷重値を得ることにより記憶が維持されると考えられている。先行研究で、複数の画像の同時学習と記憶想起を可能にする、ハードウェアで構成したホップフィールドニューラルネットワーク（以下、HFNN）が提案されている^[2]。しかし、想起の方法として細胞体モデルの発火の有無の2値状態を学習画像の白黒で対応させており、白黒の2色以外の画像を学習することが出来ない。

今回、学習可能な画像の色の種類を増やすことを目的に、HFNNの学習過程で得た結合荷重値が、想起により発火が誘発された細胞体モデルの発火周波数に影響を与える範囲について検討を行った。

2. 本論

図1に、今回の画像学習の手段として用いたHFNNの模式図を示す。HFNNは自己結合以外の全ての細胞体モデル同士を相互接続したモデルである。今回は、N1～N25の25個の他励振細胞体モデルの使用を想定しており、接続数は600個である。例として、N1を前段、N2、N3、…N25を後段として接続されている細胞体モデル同士の結合荷重値をそれぞれ w_{1to2} , w_{1to3} , … w_{1to25} と表す。発振周波数に依存する対称型STDP特性（以下、TSTDP）^[3]を学習則とすることで、接続さ

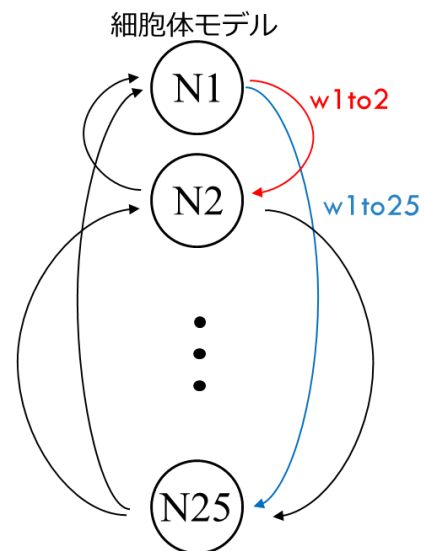


図1 ホップフィールドネットワーク

れている細胞体モデル同士の発火頻度や時間差、順序によって結合荷重値がそれぞれ決定される^[4]。

図2に今回提案する発火頻度制御回路のブロック図を示す。同図は、図1で学習した画像の想起により、N1とN25で発火が確認されていると仮定する。以下に動作原理を示す。まず、細胞体モデルの発火がパルスに変換され、OTAのSW1とSW25をそれぞれONにする。TSTDP則によって得られた結合荷重値のうち、N1を前段とした w_{1to2} , w_{1to3} , … w_{1to25} を平均値回路に入力する。この24個の結合荷重値の平均値 V_a をOTAに入力し、 V_a とOTAの基準電圧との差の大きさに対応した電流を出力する。この電流により、N1と

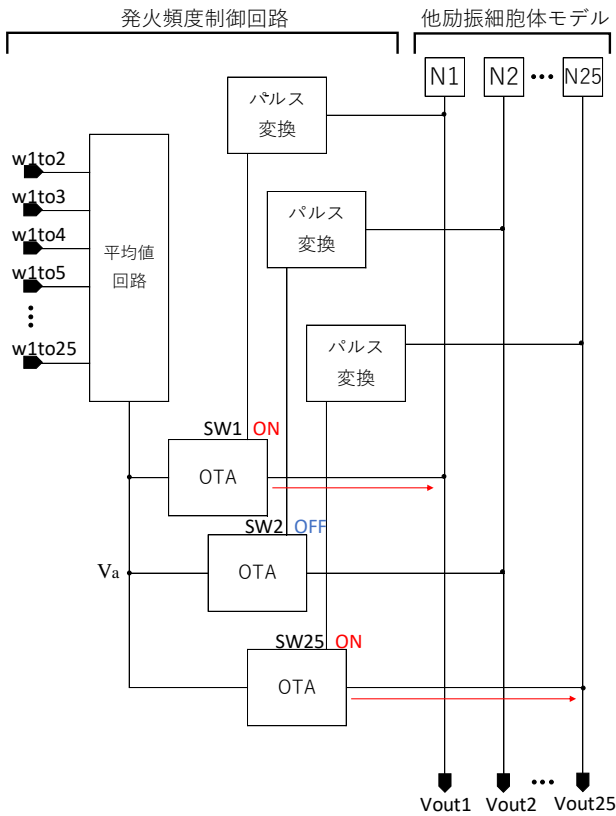


図2 発火頻度制御回路のブロック図

N25の発火頻度を変化させることができる。

図3に、平均値回路に入力する V_a に対する発火の周波数特性を示す。同図は、 V_a が約0.900~0.935Vの範囲で V_a に比例して周波数が増加し、範囲は847kHz~4.95MHzであることを示している。図中、OTAの出力電流は正の値のみを取り出しているため、基準値の0.900V以下の範囲では周波数に影響を及ぼさない。ま

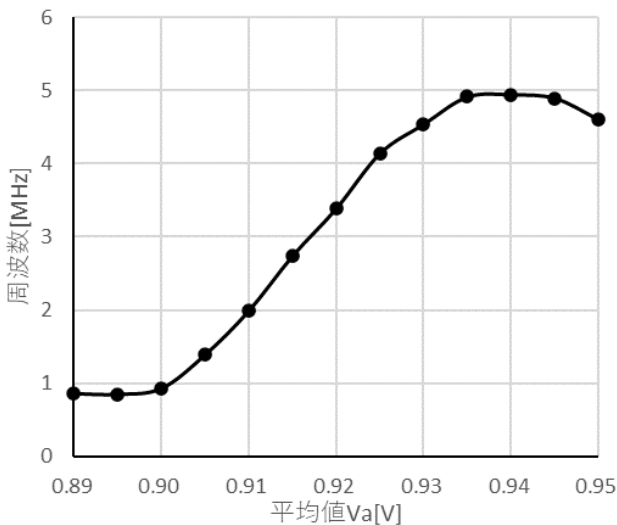


図3 OTAに入力する V_a と細胞体モデルの発火周波数との関係

た、0.935V以上では電流量の増加により細胞体モデルの動作が追い付かず周波数に変化が現れなくなり、さらに V_a が増加し続けるにつれ発火が確認できなくなる。

以上より、結合荷重値の変化により細胞体モデルの発火周波数に影響を与えることが可能であることを示している。このことは、学習する画像の色の違いが結合荷重値に影響を与えることで、学習と想起が可能な画像の種類を増やすことが出来ることを示している。

3. まとめ

今回、学習可能な画像の色の種類を増やすことを目的に、HFNNの学習過程で得た結合荷重値が、想起により発火が誘発された細胞体モデルの発火周波数に影響を与える範囲について検討を行った。その結果、24個の結合荷重値の平均値が変化することで、847kHz~4.95MHzの範囲で発火周波数に影響を与えることを明らかにした。

今後は、周波数の変化を確認できる結合荷重値の平均値と得られる周波数の範囲をさらに広げる予定である。

4. 参考文献

- [1] Andrew S. Cassidy, Julius Georgiou & Andreas G. Andreou. "Design of silicon brains in the nano-CMOS era: Spiking neurons, learning synapses and neural architecture optimization" Neural Networks, Vol.45, No.1, pp.4-26, 2013.
- [2] 唐鎌侑馬, "STDP シナプス電子回路モデルを用いた画像パターン認識システムに対する検討" 日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2021.
- [3] Julijana Gjorgjieva, Claudia Clopath, Juliette Audet, & Jean-Pascal Pfister. "A triplet spike-timing-dependent plasticity model generalizes the Bienenstock-Cooper Munro rule to higher-order spatiotemporal correlations" Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol.108, No.48, pp.19383-19388, 2011.
- [4] 菊池優作, 山口拓人, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹. "連想記憶回路のための対称型 TSTDTP シナプス回路モデルの結合荷重値に対する一検討" 第66回日本大学理工学部 学術講演会予稿集, M-23, pp.763-764, 2022.