

M-16

集積化可能な能動的樹状突起モデルの逆伝搬を用いた記憶デバイスに対する基礎的検討

A Basic Study of a Memory Devices using Backpropagation of Integrated Active Dendrite Models

○丹羽春太¹, 佐伯勝敏², 佐々木芳樹²*Haruta Niwa¹, Katutoshi Saeki², Yoshiki Sasaki²

Abstract : In this paper, we examine the memory of dendrite models in consideration of engineering applications with the goal of reproducing the memory function of dendrites. As a result, it is shown that proposed active dendrite models are some possibility of constructing a memory device using back propagation characteristics.

1. まえがき

人間の脳はいくつもの脳細胞によって構成されている。それらの複数の脳細胞は互いに電気信号を送受信しあうことで情報のやり取りを行っている。この電気的特性をアナログ回路によって示すことで人間の脳を再現することにつながる。脳細胞は大きく分けて信号を受信する樹状突起、送信する軸索、そして信号の処理を行う細胞体の3つの部位で構成されている。

我々は、以前この中の1つである樹状突起の生理学に基づく電気的特性に着目し、集積化可能な能動的樹状突起モデルの構築を行った[1]。

本稿では、上記の集積化可能な樹状突起モデルを基に、樹状突起の記憶にまつわる特性に着目することで、より工学的に有用なモデルの検討を行なった。樹状突起の特性は時系列記憶と長期記憶があると考えられ、前者は、樹状突起に信号が加わった際にどの樹状突起よりも先に細胞体が発火し各細胞体に信号を逆伝搬させる樹状突起の逆伝搬特性によるもので、後者は、樹状突起の先端に存在するスパインと呼ばれる隆起によるものであると考えられている。スパインは学習によって大きさを変え、その大きさや形が記憶に直接関係している[2]。

本稿は、上記の2つの特性を考慮し、集積化可能な能動的樹状突起モデルの逆伝搬を用いた記憶デバイスに対する基礎的検討を行ったので報告する。

2. 本論

図1に集積化可能な樹状突起の工学的応用モデルの構成概略図を示す。本モデルは1本の樹状突起と細胞体の電気的特性の記憶特性を目標として構成を行う。樹状突起部に N 個の入力端子 $V_{in1} \sim V_{inN}$ とそれに付随した入力抵抗 $R_{in1} \sim R_{inN}$, N 個の出力端子

$V_{out1} \sim V_{outN}$ 。細胞体部にノコギリ波生成回路と細胞体モデルにて構成を行う。本モデルの動作は、樹状突起の各入力端子 V_{in} から入力信号を加え、細胞体部を経由して各出力端子 V_{out} から出力信号がそれぞれ得られる。この入力信号が細胞体部を通過する際にノコギリ波を発生させ、そのノコギリ波によりその後入力された信号を減衰させることで、時間的なそれぞれの入力信号に時間的な重み変化を付け時系列記憶を行う。また、それぞれの入力端子からの信号が加わる頻度によって入力抵抗 R_{in} を変化させることで、スパインによる学習の再現を行う。

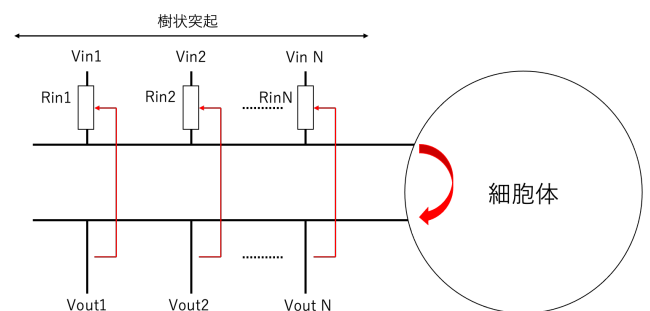


図1 集積化可能な樹状突起の工学的応用モデルの構成概略図

図2に集積化可能な樹状突起の工学応用モデルの回路図を示す。本モデルは、図1に示した樹状突起部を V_{in} , V_{out} 共に3端子ずつ設けて構成を行った。回路動作は、まず入力端子 V_{in} から入力があった際に信号が、それぞれの入力に設けた $M1 \sim M3$ の MOSFET を通り $M_a \sim M_d$ で構成したカレントミラー回路に伝わる。このとき電流調整を行う。カレントミラー回路を通った信号は、一方は細胞体モデルへ、もう一方は樹状突起の出力側へと伝わる。その後、 $M_{s1} \sim M_{s6}$,

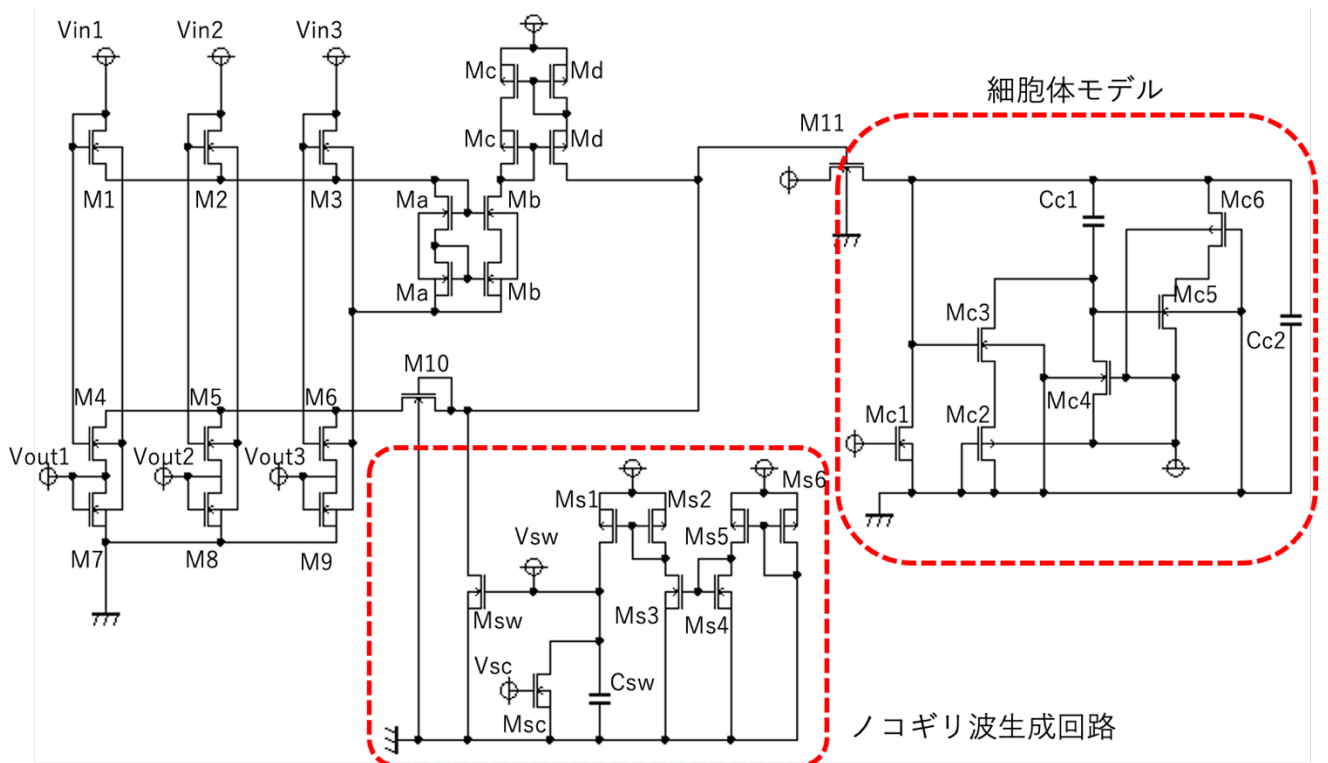


図2 集積化可能な樹状突起の工学的応用モデル

Csw, Mscにより Vswで得られるノコギリ波によって Mswを動作させる事で、カレントミラー回路から M4 ~ M6へ伝わる電流の減衰を行う。Voutは、減衰された電流を電圧へと変換し出力する。ここで、ノコギリ波は Vscに振幅1.8V, 周期300 μ s, パルス幅150 μ sの方形波を入力することにより生成した。なお、Voutは、対応する Vin端子から入力があった際のみ、出力が得られる。

図3に、図2のモデルの Vin1端子に振幅1.8V, 周期30 μ sの入力電圧を印加した際の各出力端子での電圧波形を示す。なお、Vin2, Vin3は共に入力電圧0Vとした。同図より、出力は入力を加えた入力端子に対応した Vout1のみから得られていることが確認できる。

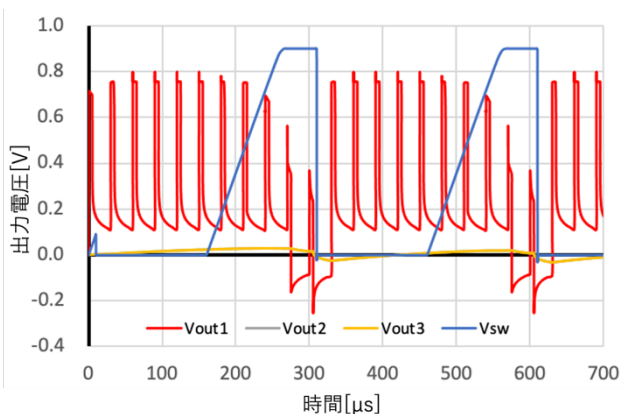


図3 集積化可能な樹状突起の工学的応用モデルの出力波形

また、出力 Vout1がノコギリ波 Vswに応じて減衰していることがわかる。ノコギリ波 Vswの電圧は、基準時間からの経過時間を電圧値へと変換したものであることから、Voutの電圧値は基準時間から経過した時間に対応して減衰していることを示している。このことから、出力信号 Voutの振幅の変化によって出力に対応した入力信号 Vinが入力されたタイミングを検知することができる。以上のことより、本モデルは、樹状突起の逆伝搬特性を用いることで記憶デバイスとしての可能性を示している。

3. まとめ

今回、樹状突起の記憶機能の再現を目標に集積化可能な能動的樹状突起モデルの記憶デバイスに対する基礎的検討を行なった。その結果、樹状突起の逆伝搬特性を用いることで記憶デバイスの可能性を示した。今後は、ノコギリ波の発生タイミングの調整、入力頻度によるシナプス活動の再現について検討を行う。

4. 参考文献

- [1]丹羽春太, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹「集積化可能な能動的樹状突起モデルの構築」, 電気学会電子回路研究会 ECT-19-087(2019)
- [2]増田敦子, 「解剖生理をおもしろく学ぶ」, サイオ出版, (2015)