

リザーバー層に用いるニューラルネットワークの同期・非同期制御に対する一検討

A Study on Control of Synchronous and Asynchronous of Neural Networks for Reservoir Layer

○米川 尊<sup>1</sup>, 山口 拓人<sup>2</sup>, 佐伯 勝敏<sup>3</sup>

\*Takeru Yonekawa<sup>1</sup>, Takuto Yamaguchi<sup>2</sup>, Katsutoshi Sacki<sup>3</sup>

Abstract: In this paper, we construct a reservoir layer connected with P-HCNM, which can show a chaotic response in a single layer, using the Gap Junction model, and investigate the synchronous and asynchronous control of neural networks. As a result, it is clarified that the reservoir layer can be controlled synchronously or asynchronously by the bias voltage and chaotic response of the Gap Junction model with random pulse train current input in the input layer.

1. はじめに

再帰的ニューラルネットワークの特殊なモデルを一般化した概念であるため、リザーバーコンピューティングは時系列情報処理に適した機械学習の枠組みの一つである。リザーバーコンピューティングの最大の特徴は、入力信号をリザーバー層で変換した後、読出し部のみを簡便なアルゴリズムで訓練することで、極めて高速な学習を可能にする点である。また、カオスとリザーバーコンピューティングの計算性能での関連性も研究されており、リザーバー層の制御パラメータをカオスの縁 (Edge of chaos) に設定することで、計算性能が上昇する<sup>[1]</sup>。

本論では、単一でカオス応答を示すことが可能なパルス形ハードウェアカオスニューロンモデル (P-HCNM)<sup>[2]</sup> と、Gap Junction<sup>[3]</sup>モデルを用いて接続したリザーバー層を構築し、ニューラルネットワークの同期、非同期の制御に対する検討を行った。

2. 本論

Fig. 1 に入力層とリザーバー層のブロック図を示す。リザーバー層はニューロン同士を Gap Junction モデルを用いてニューロンを 25 個、鎖状に接続したものである。図中の白丸は P-HCNM 表しており、リザーバー層の P-HCNM には 1~25 まで番号を割り振っている。入力層は P-HCNM 1 個、軸索モデル、興奮性シナプスモデルで構成しており、入力層とリザーバー層の P-HCNM 25 個は興奮性シナプスモデルと全結合している。入力層の P-HCNM に入力する時系列データはランダムなパルス列電流を入力している。

Fig. 2 にリザーバー層内の P-HCNM と Connexion モデルを示す。Connexion モデルは逆方向に並列に接続することで Gap Junction モデルを構築する。図中、 $I_{in}$  は外

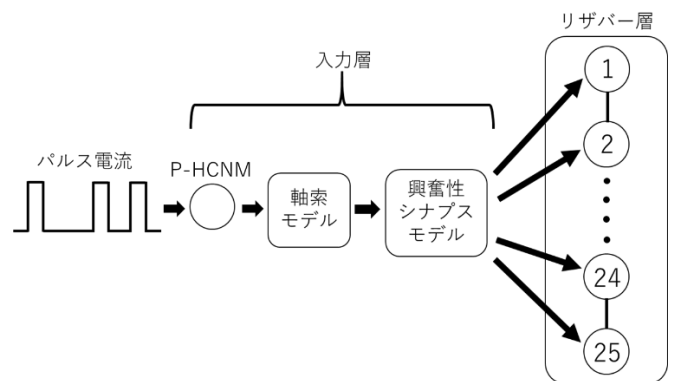


Fig. 1 入力層とリザーバー層のブロック図

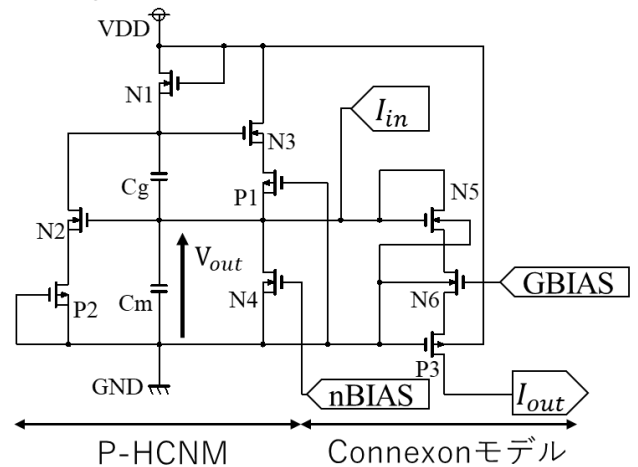


Fig. 2 P-HCNM と Connexion モデル

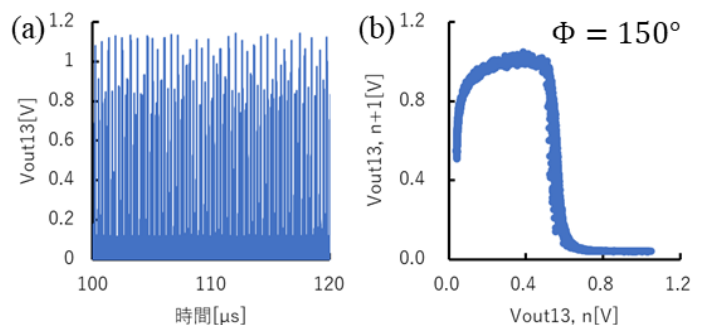


Fig. 3 P-HCNM13 の(a)発火波形と(b)リターンマップ(正弦波入力電流: 2.2μA, 7MHz, GJBIAS=1.8V)

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・院 (後)・電子 3: 日大理工・教員・電子

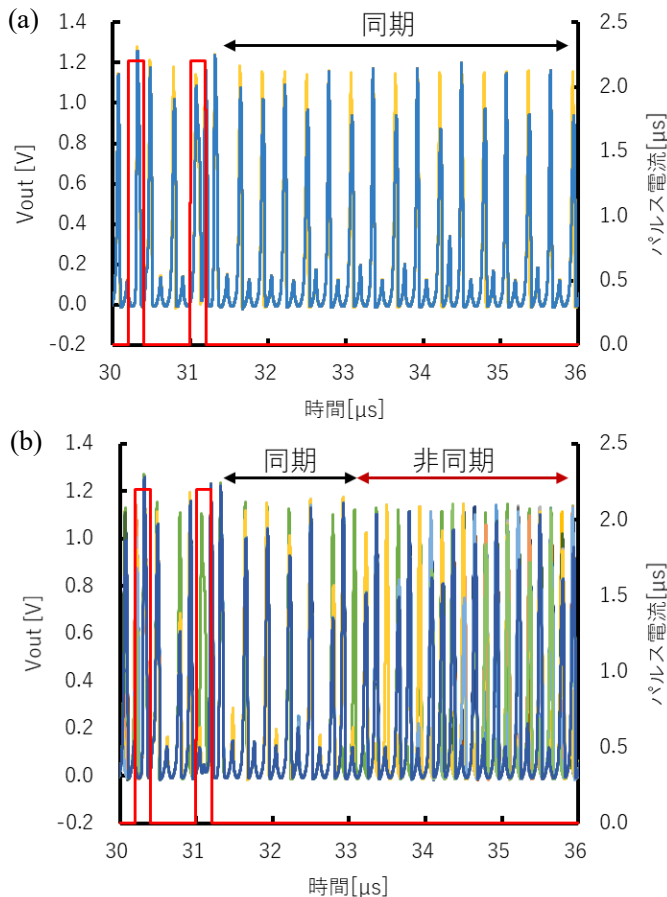


Fig. 4 リザーバー層内部の P-HCNM の発火波形 [(a):GBIAS=0V, (b):GBIAS=1.8V] (赤線はパルス電流, 発火波形は P-HCNM1, 7, 18, 19, 25 以外のものである)

部入力正弦波電流,  $V_{out}$  は出力電圧,  $I_{out}$  は出力電流,  $nBIAS$  は P-HCNM のバイアス電圧, GBIAS は Connexion モデルのバイアス電圧である. 単一 P-HCNM に対して, ある特定の周波数を持つ正弦波入力電流を印加することによりカオス応答を示す<sup>[2]</sup>.

Fig. 3 に Fig. 2 の回路を Fig. 1 のリザーバー層のように接続し, 入力層からリザーバー層への入力がない状態で, リザーバー層の各 P-HCNM に  $I_{in}$  を入力したときの P-HCNM13 の発火波形とそのリターンマップを示す. (a) の発火波形は, ピーク電圧, 発火周期ともに周期性を持たないことを示している. (b) のリターンマップは,  $I_{in}$  の位相  $\Phi=150^\circ$  から作成しており, 決定論的な関係に従って複雑な応答を示している. 以上より, Fig. 3 の応答は非線形力学則に従っていることから, カオス応答であることを示している. 他の P-HCNM でも同様の条件でカオス応答であることを確認している.

Fig. 4 に入力層の P-HCNM にランダムな  $2.2\mu A$  のパルス列電流を入力したときのリザーバー層内 20 個の P-H

CNM の発火波形を示す. (a) は GBIAS の電圧が 0V の時で, 複数の P-HCNM の発火波形が同期していることを示している. (b) は GBIAS の電圧が 1.8V の時で, 20 個の P-HCNM が入力のパルスが 0 の時に非同期で発火していることを示している. 正弦波電流の周波数を変え, カオス応答を示さない場合は, GBIAS に電圧を印加しても非同期で発火することは確認されなかった. 以上からリザーバー層の P-HCNM の発火の同期, 非同期は GBIAS とカオス応答によって制御できることを示している. また, (b) でパルスが 1 の時に同期し, パルスが 0 の時に非同期となることについては, パルスが 1 の入力により P-HCNM が強制的に発火することで同期し, パルスが 0 の時は, 各 P-HCNM のカオス応答の初期値鋭敏性により非同期になると考えられる.

### 3. まとめ

本論では, 単一でカオス応答を示すことが可能な P-HCNM と, Gap Junction モデルを用いて接続したリザーバー層を構築し, ニューラルネットワークの同期, 非同期の制御に対する検討を行った. その結果, 入力層にランダムなパルス列電流を入力し, GBIAS とカオス応答によってリザーバー層の同期, 非同期の制御が行えることを明らかにした.

今後は, リザーバー層を非同期にすることで, リザーバー層の状態ベクトルの次元を P-HCNM の数に近づけることができ, 入力信号をリザーバー層によって非線形変換を行う予定である. また, Fig. 4 におけるパルス電流は時系列 XOR タスクを想定した信号である. 読出し部の結合荷重値を決定する方法として, ソフトウェアを用いた線形回帰分析を行い, P-HCNM で構成したニューラルネットワークがリザーバー層として用いることができるかを確認する予定である.

### 4. 参考文献

- [1] 田中剛平, “リザーバーコンピューティングの概念と最近の動向”, 電子情報通信学会誌, Vol. 102, No. 2, 2019.
- [2] K. Sacki, Y. Sekine, and K. Aihara, “Chaos in Pulse-type Hardware Neuron Model”, World Scientific Publishing Co. Singapore, pp.277-295, April 2002.
- [3] T. Yamaguchi, K. Sacki, and Y. Sasaki. “A Pulse-Type Hardware Chaotic Neural Network with Gap junctions for IC Implementation”, AVIC2021, pp.138-141, Oct. 2021.