

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

動的バイナリーニューラルネットの2値周期軌道の解析と応用

著者	安西 翔太
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	62
ページ	1-3
発行年	2021-03-24
URL	http://doi.org/10.15002/00023920

動的バイナリニューラルネットの 2値周期軌道の解析と応用

ANALYSIS AND APPLICATIONS OF BINARY PERIODIC ORBITS IN DYNAMIC BINARY NEURAL NETWORKS

安西翔太

Shota ANZAI

指導教員 斎藤利通

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper studies basic dynamics of simple dynamic binary neural networks and their applications. The network is characterized by local binary connection and signum activation function. Depending on the parameters and initial condition, the network can generate various binary periodic orbits. The binary connection is suitable for FPGA based hardware implementation. We consider two target periodic orbits based on the insect walking gaits and switching of them. Implementing a test circuit on the Verilog, switching of the periodic orbits is confirmed experimentally. These results will be developed into applications to central pattern generators.

Key Words : dynamic binary neural network, sparsity, stability, central pattern generator

1. はじめに

本研究では動的バイナリニューラルネット(DBNN[1]-[4])は、N次元2値入力からN次元2値出力のネットワークに、遅延フィードバックを適用して構成される。DBNNは、3値の結合パラメータとシグナム活性化関数によって特徴づけられる。パラメータや初期値に依存して、様々な2値周期軌道(BPO)を生成することができる。応用として、スイッチング回路の制御信号[4]、順序回路[5]、セントラルパターンジェネレータ(CPG[6][7])、などが研究されている。

本論文では、DBNNを簡素化した3-1動的バイナリニューラルネット(3-1DBNN[3])を導入し、そのCPGへの応用について考察する。3-1DBNNの各ニューロンは、3入力1出力であり、ネットワークの結合はスパースである。これは、消費電力の低いハードウェア実装に適している。所望の動作を実現する結合パラメータの探索にも好都合である。

本論文では、3-1DBNNのCPGへの応用の基礎となる問題を考察する。まず、3-1DBNNを定義し、2つの周期軌道を生成することを示す。この周期軌道は昆虫の歩行パターンに基づくものである。次に、その2つの周期軌道をスイッチすることを考える。これは、3-1DBNNの結合パラメータとしきい値パラメータを切り替えることによって実現できる。本論文では、スムーズな切り替えを可能とするパラメータを示す。最後に、FPGAを用いてハード

ウェア実装し、周期軌道の生成と切り替わりを確認する。これらの結果は、CPGの設計に発展すると考えられる。

2. 3-1動的バイナリニューラルネット

図1に示すように、3-1DBNNはシグナム活性化関数と2値の結合パラメータで特徴づけられる。動作は以下の式(1)で記述され、シグナム活性化関数は式(2)で定義される：

$$x_i^{t+1} = F(w_{ii}x_i^t + w_{ib}x_b^t + w_{ic}x_c^t - T_i) \quad (1)$$

$$x_{i_a} \in \{x_1, \dots, x_N\}, x_{i_b} \in \{x_1, \dots, x_N\},$$

$$x_{i_c} \in \{x_1, \dots, x_N\}, x_{i_a} \neq x_{i_b} \neq x_{i_c}$$

$$w_{ij} \in \{-1, +1\}, T_i \in \{-4, -2, 0, +2, +4\}$$

$$F(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x \geq 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

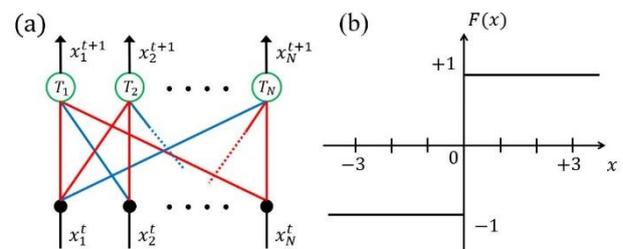


図1 3-1DBNN. (a)ネットワーク図。赤線が $w_{ij} = +1$ 、青線が $w_{ij} = -1$ 、無結合が $w_{ij} = 0$ を示す。(b)シグナム活性化関数

便宜のため、式(1)を $x^{t+1} = F_D(x^t)$ と略記する。ただし、 $x^t \equiv (x_1^t, \dots, x_N^t)$ である。図 1(b)に示すように、 $X \equiv w_{iia}x_{ia}^t + w_{iib}x_{ib}^t + w_{iic}x_{ic}^t$ とすると、 X は $\{-3, -1, +1, +3\}$ の4つの値をとる。

これより、しきい値 T_i が $\{-4, -2, 0, +2, +4\}$ の要素とすればよいことがわかる。離散時刻 t で、 i 番目のニューロンは N 個の2値ベクトル (x_1^t, \dots, x_N^t) から3つの入力2値ベクトル $(x_{ia}^t, x_{ib}^t, x_{ic}^t)$ を選択する。離散時刻 $t+1$ では、そのニューロンは i 番目の2値ベクトル x_i^{t+1} が出力される。これらは、結合パラメータが実数地であるリカレントニューラルネットや3値であるDBNNに比べてハードウェア実装に適している。さらに、そのハードウェアは消費電力が削減される。また、3-1DBNNの結合パラメータのパターン数は、 $\left(\binom{N}{3} \times 2\right)^N$ である。DBNNのパターン数は、 3^{N^2} であるため、3-1DBNNは、DBNNに比べ結合パラメータの探索が容易である。ここで、3-1DBNNの周期軌道に関する定義を与える。

ある2値ベクトル θ_p が、 $\theta_p = F_D^k(\theta_p)$ 、 $\theta_p \neq F_D^l(\theta_p)$ 、 $1 \leq l < k$ を満たすとき、 θ_p を周期 k の周期点(PEP)と呼ぶ。ただし、 F_D^k は F_D の k 回合成写像である。

そして、PEPの系列 $\{\theta_p, \dots, F_D^{k-1}(\theta_p)\}$ を周期 k の周期軌道(BPO)と呼ぶ。以下に、結合パラメータ行列としきい値ベクトルを定義する。

$$W \equiv \begin{pmatrix} w_{11} & \dots & w_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1} & \dots & w_{NN} \end{pmatrix}, T \equiv \begin{pmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

3. 周期軌道の生成と切り替え

今回は簡単のため、 $N = 6$ とする。目的となる2つの2値周期軌道(TBPO)を表1と表2(TBPO1とTBPO2)に示す。これらは、昆虫の歩行パターン[6]に関連したものである。TBPO1は、図2に示した2周期軌道の歩行パターンである。TBPO2は、図3の6周期軌道の歩行パターンである。 C_1, C_2 はTBPO1の要素の2値ベクトルを示し、 C_3, \dots, C_8 はTBPO2の要素を示している。R1, R2, R3, L1, L2, L3は、昆虫の6本の脚に対応している。"+1"は、動かす脚を意味し、"-1"は、動かさない脚を意味する。

以下に、試行錯誤によって導出したパラメータを示す。式(4)のパラメータを与えると3-1DBNNはTBPO1を生成し、式(5)のパラメータを与えるとTBPO2を生成する。その時のネットワーク図をそれぞれ図4、図5に示す。

$$W = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & +1 & 0 & +1 \\ +1 & 0 & 0 & -1 & +1 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & +1 & -1 & 0 \\ +1 & 0 & +1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & +1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & +1 & 0 \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & +1 & -1 \\ -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & -1 \\ +1 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ -1 & +1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 2 \\ 2 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

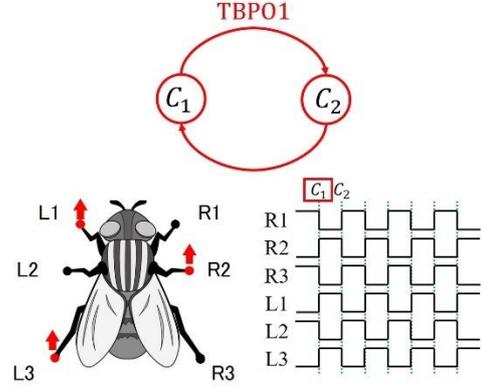


図2 TBPO1に対応する2周期の歩行パターン

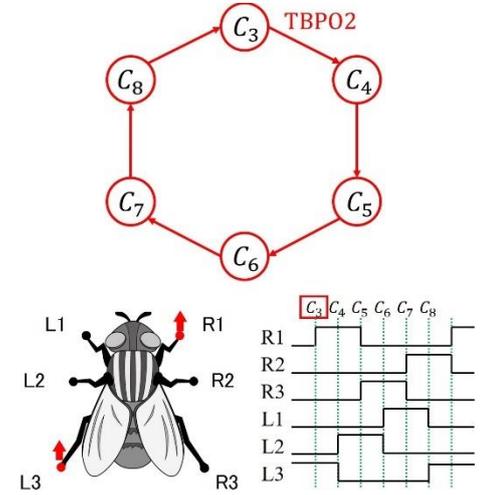


図3 TBPO2に対応する6周期の歩行パターン

表1 TBPO1 (2周期)

	R1	R2	R3	L1	L2	L3
C_1	(-1, +1, -1, +1, -1, +1)					
C_2	(+1, -1, +1, -1, +1, -1)					

表2 TBPO2 (6周期)

	R1	R2	R3	L1	L2	L3
C_3	(+1, -1, -1, -1, -1, +1)					
C_4	(+1, -1, -1, -1, +1, -1)					
C_5	(-1, -1, +1, -1, +1, -1)					
C_6	(-1, -1, +1, +1, -1, -1)					
C_7	(-1, +1, -1, +1, -1, -1)					
C_8	(-1, +1, -1, -1, -1, +1)					

TBPO1 と TBPO2 のスイッチを、3-1DBNN のパラメータの切り替えによって実現する。これは、昆虫などの CPG における歩行パターンの切り替わりの実現などに関連する。2つの TBPO の切り替えをスムーズに行うためには、パラメータを切り替えた次の状態でもう片方の TBPO に落ち込む必要がある。そのため、TBPO1 を生成する場合、TBPO2 に対応するすべての PEP を 1 度の写像で TBPO1 に落ち込ませる。逆に、TBPO2 を生成する場合、TBPO1 に対応するすべての PEP を 1 度の写像で TBPO2 に落ち込ませる。ここで、目的 E 周期点 (TEPP) を定義する。ただし、1つのパラメータに対して、1つの TBPO を生成するものとする。そのとき、生成していない TBPO に対応するすべての PEP を TEPP と定義する。具体的には、TBPO1 を生成している場合、TBPO2 に対応するすべての PEP を TEPP とする。また、TBPO2 を生成している場合、TBPO1 に対応するすべての PEP を TEPP とする。この状態をそれぞれ図 6(a)(b)に示す。

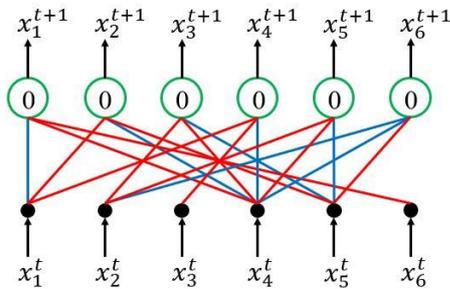


図4 TBPO1 を生成する 3-1DBNN

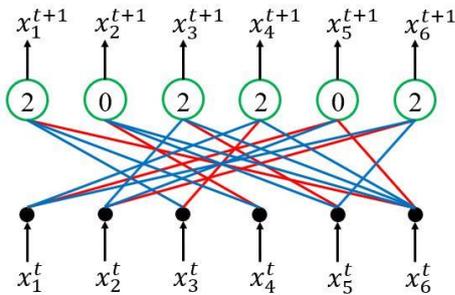


図5 TBPO2 を生成する 3-1DBNN

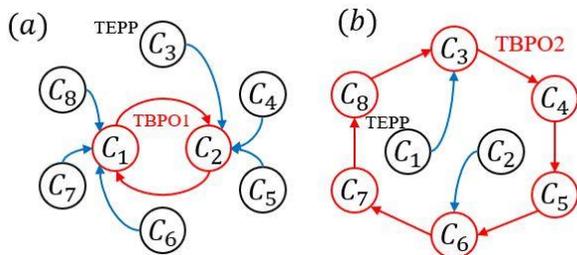


図6 TBPO の切り替えと TEPP

4. ハードウェア実装

TBPO1 を生成する式(4)のパラメータと TBPO2 を生成する式(5)のパラメータを切り替えることにより、TBPO1 と TBPO2 の切り替えを行う。また、ハードウェア言語は Verilog を使用し、FPGA を用いてハードウェア実装する。図7に測定した波形を示す。2つのパラメータは、SW により切り替わるように設計した。

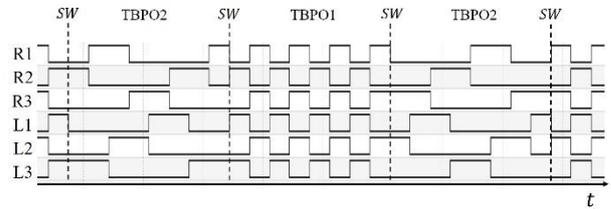


図7 FPGA 波形

5. むすび

昆虫の歩行パターンに関連した2つのTBPOの生成と切り替えについて考察した。3-1DBNNのパラメータを適切に設定し、所望のTBPOを生成し、その切り替えをスムーズにできることがわかった。最後にFPGAを用いてハードウェア実装した。今後の課題としては、ハードウェア実装やCPGのハードウェア実装と低電力化などが挙げられる。

参考文献

- 1) S. Koyama and T. Saito, Guaranteed storage and stabilization of desired binary periodic orbits in three-layer dynamic binary neural networks, *Neurocomputing* 416 (2020) 12-18.
- 2) S. Anzai, S. Koyama, S. Aoki, T. Saito, Sparse dynamic binary neural networks for storage and switching of binary periodic orbits, in: T. Gedeon et al. (Eds.), *ICONIP 2019*, LNCS volume 11954 (2019) 536-542.
- 3) S. Aoki, S. Koyama, T. Saito, FPGA based hardware implementation of simple dynamic binary neural networks. L. Cheng et al. (Eds.): *ICONIP 2018*, LNCS 11307 (2018) 647-655.
- 4) R. Sato and T. Saito, Stabilization of desired periodic orbits in dynamic binary neural networks, *Neurocomputing* 248, pp. 19-27, 2017.
- 5) S. Saravanan, M. Lavanya, R. Vijay Sai, and R. Kumar, Design and analysis of linear feedback shift register based on various tap connection, *Procedia Engineering*, 38, pp. 640-646, 2012.
- 6) A. Lozano, M. Rodriguez, R. Roberto Barrio, Control strategies of 3-cell central pattern generator via global stimuli, *Sci. Rep.* 6 (2016) 23622.
- 7) P. Ramdya, R. Thandiackal, R. Cherney, T. Asselborn, A. J. Ljspeert, R. Benton, and D. Floreano, Climbing favours the tripod gait over alternative faster insect gaits, *Nat. Commun.* 8 (2017) 14494.