

## M-14

## 6 脚マイクロロボットの方向転換を行うハードウェアニューラルネットワークの開発

### Development of Hardware Neural Networks for Changing the Traveling Direction of Hexapod-Type Microrobot

○小原正也<sup>1</sup>, 黒澤実花<sup>2</sup>, 佐々木拓郎<sup>2</sup>, 森下克幸<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>\*Masaya Ohara<sup>1</sup>, Mika Kurosawa<sup>2</sup>, Takuro sasaki<sup>2</sup>, Katuyuki Morishita<sup>2</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: The authors are studying Hardware Neural Networks (HNN) which generates driving waveform of hexapod-Type microrobot. In the previous research, the HNN could generate the gait pattern which is necessary to perform the locomotion of the microrobot. This paper discusses HNN which can change the traveling direction of the microrobot. The authors investigated the frequency characteristics of excitatory-inhibitory neuron pair model constituting HNN. Besides, the oscillation period of the neuron model was reduced to less than half. The period difference of the left and right neuron models generated a difference in the cycle of scratching the left and right legs and showed the possibility of changing the traveling direction of the microrobot.

## 1. 序論

マイクロロボットは災害現場での人の搜索や、配管内のメンテナンス作業、周囲の環境測定など、人の入れない狭い空間、危険な環境での活躍が期待される。しかしながら、電源や制御回路を搭載したミリメートルサイズのロボットの実現は難しい。

一方で、昆虫はミリメートルサイズと小型だが、状況に応じて移動方向や速度を変え、柔軟な歩行を行う。昆虫のニューラルネットワークを模倣することで、従来のプログラム制御とは異なる、小規模で自律的な制御を実現できる可能性がある。生物のニューラルネットワークを人工的に模倣した人工ニューラルネットワークの研究がある。現在主流であるソフトウェアモデルを使用する場合、小型のコンピュータや FPGA を使用する必要があり、ミリメートル以下のロボットへの搭載は困難である。人工ニューラルネットワークの中でも非同期の電子回路モデルである、ハードウェアニューラルネットワーク(Hardware Neural Networks : 以後 HNN と略記)の研究がある<sup>[1]</sup>。HNN は集積回路技術を適用することで、並列処理による素早い応答と回路の小規模化、低消費電力化が期待できる。

我々はマイクロロボットの駆動波形を生成する、HNN の研究を行っている。HNN は 6 脚のマイクロロボットの歩行パターンを生成可能であり、制御回路を搭載するロボットとして世界最小のマイクロロボットの歩行に成功した<sup>[2]</sup>。これまでマイクロロボットは一方方向にしか進むことができなかった。本論文ではより高機能なマイクロロボットの実現のため、旋回を行う HNN の検討を行った。片側の脚を反対側の脚の半分の周期で搔くことで移動方向の制御を行う。

## 2. 興奮抑制ニューロン対

Figure1 に使用した興奮抑制ニューロン対の回路図を示す。Figure1 中 C 部は細胞体モデル、I 部は抑制性シナプスモデル、E 部は興奮性シナプスモデルを示している。各回路定数は MOSFET  $M_{C1}=3/10$ ,  $M_{C2}=1.2/10$ ,  $M_{C3}=10/1.2$ ,  $M_{C4}=10/1.2$ ,  $M_{IS1}$ ,  $M_{IS2}$ ,  $M_{IS3}$ ,  $M_{IS4}$ ,  $M_{IS5}=10/10$ ,  $M_{ES1}$ ,  $M_{ES2}$ ,  $M_{ES3}=10/10$ , コンデンサ  $C_{IS}$ ,  $C_{ES}=1$  pF.  $C_G=10$   $\mu$ F,  $C_M=1$   $\mu$ F とした。細胞体モデルは単体で周期 2.00 s で発振を行う。左右の脚で半分の周期差を得るため、HSPICE 上でシミュレーションにより興奮抑制ニューロン対の特性を調べた。

Figure2 に結合強度電圧  $V_w=1.5$  V 時の興奮抑制ニューロン対の結合強度と  $C_i$  の発振周期の関係を示す。興奮性シナプスの結合強度  $w_e$  は Figure.1 における  $M_{ES4}$  の W/L, 抑制性シナプスの結合強度  $w_i$  は  $M_{IS6}$  の W/L である。Figure2 は結合強度が大きい程、発振周期が小さくなることを示している。

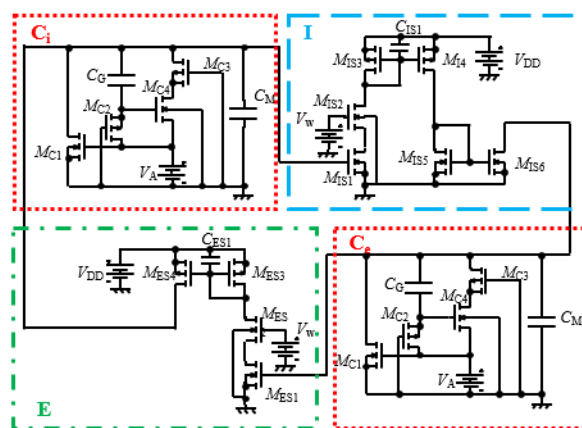


Figure 1. Circuit diagram of EI neuron pair

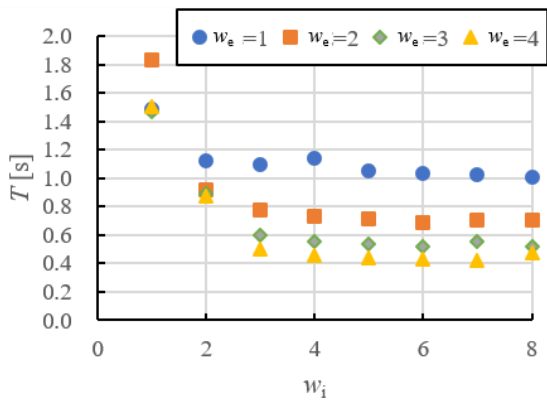


Figure 2. Relationship between pulse period of  $C_i$  and coupling coefficients  $w_i, w_e$

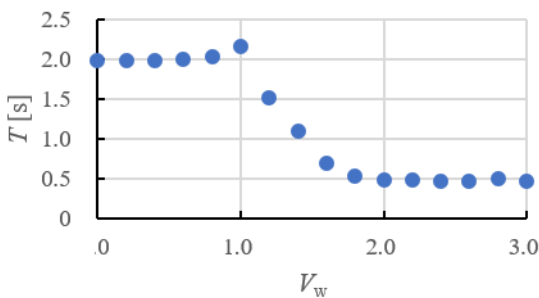


Figure 3. Relationship between pulse period of  $C_i$  and coupling coefficient voltage  $V_w$

Figure3 に  $w_e=3, w_i=2$  時の  $V_w$  と周期の関係を示す。 $V_w$  が 1 V から 2 V の範囲では非線形的に  $C_i$  の周期が変化する。これは  $V_w$  を入力する N 型 MOSFET の特性と考えられる。Figure2, 3 から、 $V_w=1.5, w_e=3, w_i=2$  の時、 $C_i$  の発振周期が  $V_w=0$  V の時に対して約半分になる。

### 3. マイクロロボットの方向転換を行う HNN

Figure4 にマイクロロボットの方向転換を行う HNN の回路図を示す。回路定数は 2 章で示したものに、それぞれの  $M_{IS7}, w_e=10/30, w_i=10/10$  とした。LCPG, RCPG は興奮抑制ニューロン対をリング状に結合したネットワークである。 $V_{wl}, V_{wr}$  はそれぞれ LCPG, RCPG の  $V_w$  である。Figure5 に本回路の出力波形を示す。本モデルは右方向、左方向に進行方向を変更するパルスパターンと、昆虫の歩様である波状歩行パターンを生成する。 $V_{wl}=0$  V,  $V_{wr}=1.5$  V の時、LCPG の細胞体モデル  $C_i$  が 1 周期の間に、RCPG の  $C_i$  が 2 周期発振する。よって  $V_w$  の変化により方向転換が可能であることを示している。これにより右方向に進行する出力波形を生成する。本モデルは左右対称であり、 $V_{wl}=1.5$  V,  $V_{wr}=0$  V の時左方向に進行する出力波形を生成する。

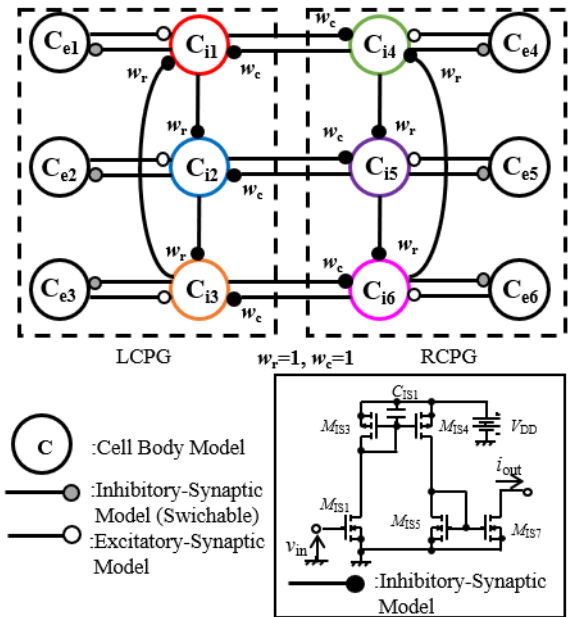


Figure 4. Circuit diagram of hardware neural networks for changing traveling direction

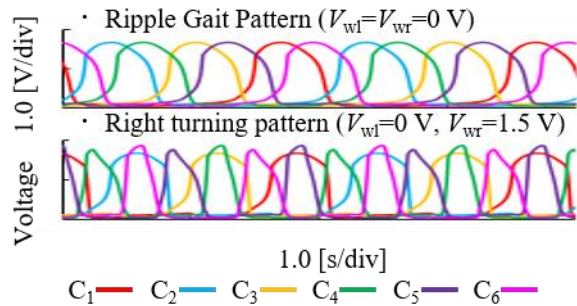


Figure 5. Output of hardware neural networks

### 4. 結論

本論文では HNN を構成する興奮抑制ニューロン対の結合強度と発振周期の関係を調べ、マイクロロボットの方向転換を行う HNN を設計した。今後は IC チップへのレイアウト及びマイクロロボットへ実装実験を行っていく予定である。

### 5. 参考文献

[1] Saito K, Saeki K, Sekine Y. "Synchronization of coupled pulse-type hardware neuron models for CPG model," *In: Proceedings of the 2009 International Joint Conference on Neural Networks*, Atlanta, Georgia, USA, 2009, pp 2748–2755.

[2] Satoshi K, Daisuke T, Taisuke T, et al, "Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism," *Artificial Life and Robotics*, Volume 23, Issue3,2018, pp 380–386.