

M-41

ラット型ロボット用ニューロモーフィック回路の集積化の検討 Study of Neuromorphic Circuit Integration for Rat-Type Robot

○安田祐希¹, 村本大和¹, 中山渉², 大隈井輔², LYU SHUXIN³, 森下克幸³, 齊藤健⁴
*Yuki Yasuda¹, Yamato Muramoto¹, Wataru Nakayama², Isuke Okuma², Shuxin Lyu³, Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are studying neuromorphic circuit that mimic the neurons of living organisms. Although the mechanism of animal gait patterns has not yet been elucidated, neuromorphic circuits could be used in robots to generate gait like that of real organisms. The authors previously developed a quadruped robot that mimics a large animal using analog electronic circuits. This quadruped robot can move based on information from pressure sensors in its toes. In this paper, the authors investigate the use of neuromorphic circuit for a rat-type robot that moves by muscular contraction movements. The simulation results of the fabricated neuromorphic circuit confirm the expected waveforms.

1. はじめに

自律型四足歩行ロボットは、日常生活における補助や災害時における探索など、様々な分野における活動が期待されている。自律型四足歩行ロボットの先行研究には、不整地においても歩行を実現させることができる BigDog がある^[1]。現在開発されている自立型四足歩行ロボットの多くは、大量のセンサや複雑なソフトウェア制御によって歩行している。一方で、生物は歩行する際に複雑な制御や計算は行わず、脊髄において歩行パターンを生成していると考えられている。歩行パターンのメカニズムは未だ解明されていないものの、生物の神経系の機能をアナログ電子回路モデルを用いて模倣することで、実在する生物に近い歩容を生成できる可能性がある。

我々は、動物のようにデジタル制御を必要としない四足歩行ロボットシステムの開発を行っている^[2]。神経系の機能を模倣したアナログ電子回路モデルを用いることで、生物に近いメカニズムでロボットの制御を行うことが期待できる。先に我々は、生物の神経系を模倣したアナログ電子回路をロボットに搭載し、歩容を生成する四足歩行ロボットの開発に成功している^[3]。開発したアナログ電子回路を搭載することで、足先の圧力センサの情報をもとに、移動速度に応じた歩容の生成に成功した。

本論文では、筋肉の収縮運動を模倣して歩容を生成するラット型ロボットに搭載するニューロモーフィック回路を設計し、集積回路化に向けて HSPICE を用いて回路の動作をシミュレーションした。シミュレーションの結果、設計したニューロモーフィック回路は出力が交互に発振することを確認したので報告する。

2. ラット型ロボット

Figure 1 に現在開発途中のラット型ロボットの模型を示す。ラット型ロボットには、ニューロモーフィック回路、バネ、人工筋肉ワイヤを搭載している。前腕と上腕に搭載している人工筋肉ワイヤは実際の小型動物の筋肉を模倣しており、後述するニューロモーフィック回路からの出力に応じて、人工筋肉ワイヤが収縮、伸長することで歩容を生み出すことが可能となる。

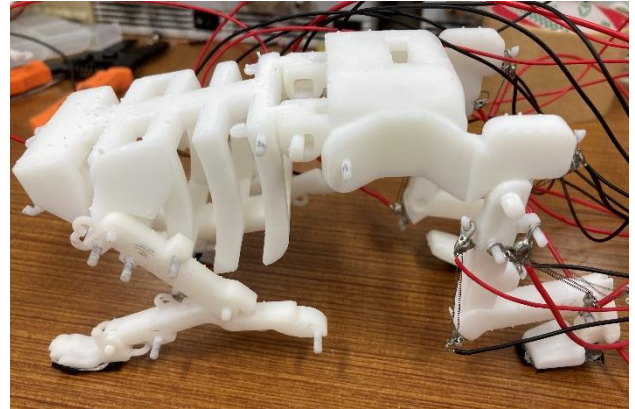


Figure 1. Rat-type robot

3. ニューロモーフィック回路

Figure 2 に今回設計したニューロモーフィック回路の概略図を示す。ニューロモーフィック回路は、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、遅延機能のついた興奮性シナプスモデルで構成した。細胞体モデルは周期的にパルスを出力する発振回路である。抑制性シナプスモデルはシナプス荷重コントロール電圧に応じて、細胞体モデルの発振を抑制する回路である。複数の細胞体モデルを相互に結合することで、繋がれた細胞体

モデルを逆相で発振させることができる。遅延機能の付いた興奮性シナプスモデルは細胞体モデルの発振を遅らせる回路である。Figure 2 のモデル図のように組み合わせることによって、2つの細胞体モデル C_{F1} , C_{E1} を交互に発振させることが可能となる。今回設計を行ったニューロモーフィック回路で、ラット型ロボットに搭載している一つの関節の人工筋肉ワイヤを収縮、伸長することが可能となる。

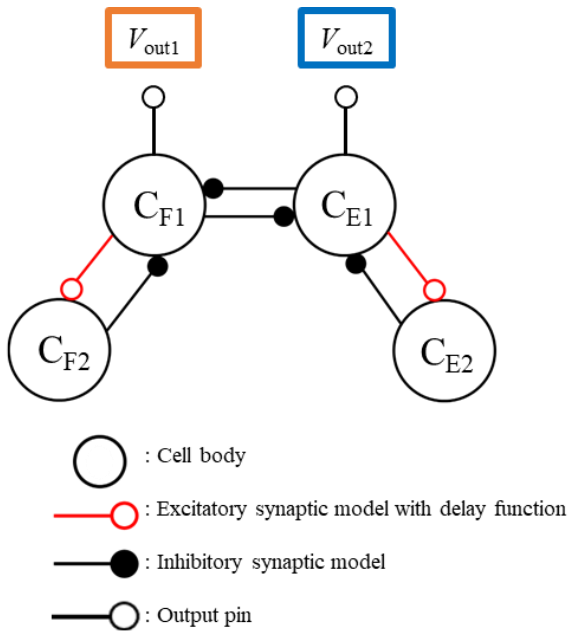


Figure 2. Models of neuromorphic circuit

4. シミュレーション結果

ニューロモーフィック回路の動作確認を行うため HSPICE を使用し、回路シミュレーションを行った。シミュレーション結果を Figure 3 に示す。Figure 3 は、Figure 2 中の出力 V_{out1} および出力 V_{out2} からの出力波形を示している。シミュレーションの結果、細胞体モデルからの出力 V_{out1} および V_{out2} は交互に発振することが確認できた。作成したニューロモーフィック回路をラット型ロボットに搭載することで、人工筋肉ワイヤの収縮、伸長を交互に行うことが可能である。

5. まとめ

本論文では、抑制性シナプスモデルと遅延機能の付いた興奮性シナプスモデルを組み合わせ回路の設計と、集積回路化に向けて HSPICE を用いたシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、2つの細胞体モデルの出力 V_{out1} および V_{out2} が交互に発振すること

を確認した。今後はニューロモーフィック回路の集積化を行い、実際にラット型ロボットへの搭載を行う予定である。

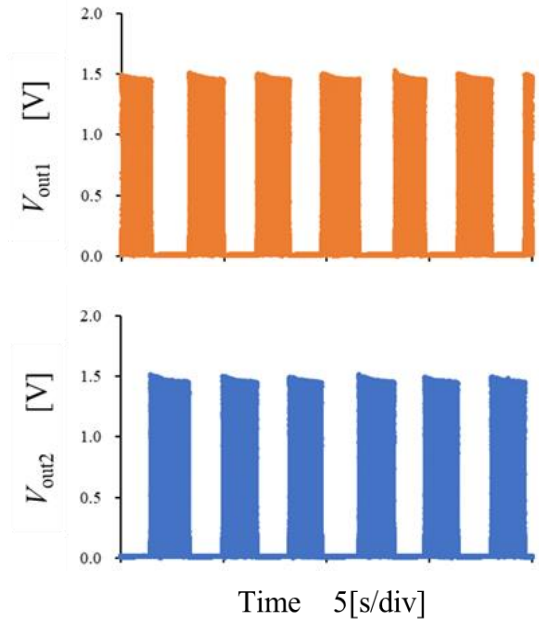


Figure 3. Simulation results of the neuromorphic circuit of the rat-type robot

6. 謝辞

本論文の研究は、令和2年度日本大学学術研究助成金総合研究の助成を受けたものです。また、本研究の一部は令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものです。本研究は、東京大学 dlab(旧 VDEC)活動を通して、日本シノプシス合同会社、日本ケイデンス・デザイン・システム社、メンターグラフィック・ジャパン株式会社の協力で行われたものである。

7. 参考文献

- [1] Raibert, M. Blamlespoor, K. Nelson, G. Playter, R. : "BigDog the Rough - Terrain Quadruped Robot" IFAC Proceedings Volumes, Volume 41, pp.10822-10825, 2008
- [2] K. Saito, M. Ohara, M. Abe, M. Kaneko, F. Uchikoba : "Gait Generation of Multilegged Robots by using Hardware Artificial Neural Networks." INTECH, pp.29-50, 2018.
- [3] Y. Takei, K. Morishita, R. Tazawa, "Development of Quadruped Robot Generating Animal-like Gaits Utilizing Independent Neuro-Circuits", The 32nd Workshop on Circuits and Systems, Kitasenju, pp. 222-227, 2019