

M-27

ラットの筋骨格系を模倣した四足歩行ロボットを制御するニューロモルフィック集積回路の検討 A Study on Neuromorphic Integrated Circuits to Control Quadruped Robot Mimicking Rat's Musculoskeletal System

○野口裕太¹, 安田祐希², 伊藝楓斗², LYU SHUXIN³, 齊藤健⁴*Yuta Noguchi¹, Yuki Yasuda², Futo Igei², Shuxin Lyu³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are studying neuromorphic circuits that mimic the nervous systems of living organisms. Although the details of the principles of gait generation in living organisms have not yet been elucidated, it is possible to realize a walking robot that does not use digital control by reproducing the nervous systems of living organisms using analog electronic circuits. The quadruped robot we are developing operates based on information from neuromorphic circuits and pressure sensors attached to its toes. In this paper, the authors investigate using a neuromorphic circuit for a rat-type robot that moves by muscular contraction movements. The simulation results of the fabricated neuromorphic circuit showed that the output waveforms were as expected.

1. はじめに

近年、自律型四足歩行ロボットの開発が盛んに行われており、災害時や日常生活における活躍が期待されている。自律型四足歩行ロボットの例として、不整地における歩行を可能とする BigDog がある^[1]。一般的な自立型四足歩行ロボットは、多様なセンサ及びプログラミングを用いた制御方法が用いられている。一方で、生物は脊髄の働きにより複雑な計算を行うことなく歩行パターンを生成していると考えられている。生物の歩容生成の原理の詳細は未だ解明されていないが、生物の神経系をアナログ電子回路によって再現することで、デジタル制御を用いない簡易な制御で歩行ロボットを実現できる可能性がある。

我々は、デジタル制御を用いない四足歩行ロボットシステムの開発を行っている^[2]。生物の神経系を模倣したアナログ電子回路モデルの活用により、実際の生物の歩容生成に類似した原理で制御を行い歩行することが期待できる。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及び足先の圧力センサの情報に基づき、移動速度に応じた歩容の生成を実現した。

本論文では、生物の筋肉の収縮運動を模倣したラット型ロボットに搭載するニューロモルフィック回路を設計した。また、集積回路化に向けて HSPICE を用いて作成した回路の動作をシミュレーションした結果、ニューロモルフィック回路の出力により1本の脚を駆動するために必要な波形を確認したので報告する。

2. ラット型ロボット

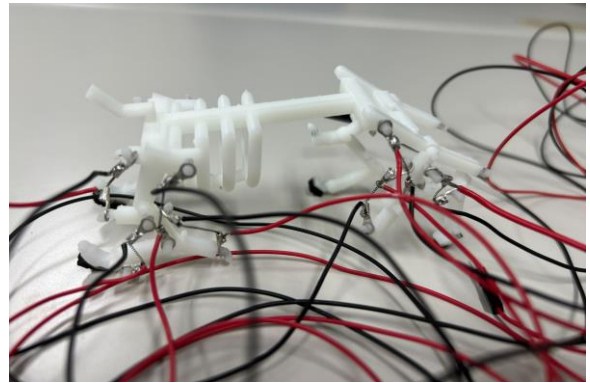


Figure 1. Rat-type robot

Figure 1 に開発途中のラット型ロボットの模型を示す。ロボットはニューロモルフィック回路、人工筋肉ワイヤを搭載しており、前腕と上腕に搭載している人工筋肉ワイヤは実際のラットの筋肉を模倣している。ニューロモルフィック回路の出力に応じて、人工筋肉ワイヤが伸縮することで歩容を生成する。

3. ニューロモルフィック回路

Figure 2 に設計したニューロモルフィック回路の概略図を示す。ニューロモルフィック回路は、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、興奮性シナプスモデル、遅延機能を模倣し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、繋がれた細胞体モデルの発振を抑制させる回路である。興奮性シナプスモデルは抑制性シナプスモデルとは対称に、繋がれた細胞体モデルの発振を促進させる回路である。遅延機能を模倣した興奮性シナプスモデルは繋がれた細胞体モデルを遅らせて

1 : 日大理工・学部・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・院 (後)・精機 4 : 日大理工・教員・精機

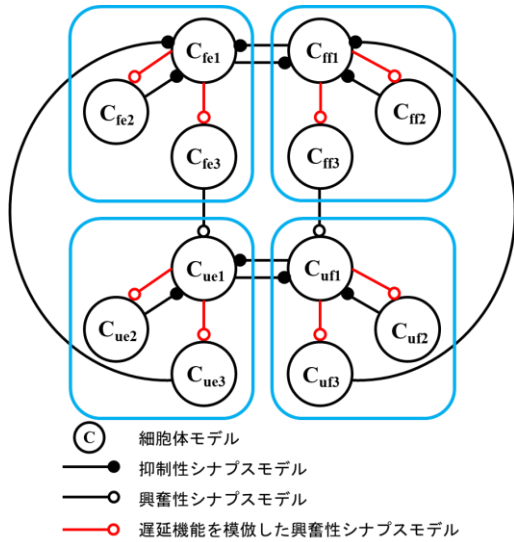


Figure 2. Models of neuromorphic circuit

発振させる回路である。Figure 2 に示す回路は C_{fe1} と C_{ue1} , C_{ff1} と C_{uf1} をそれぞれ遅延機能を模倣した興奮性シナプスモデルで結合して遅延のある発振をさせ、 C_{fe1} と C_{ff1} , C_{ff1} と C_{uf1} をそれぞれ抑制性シナプスモデルで結合して逆相の発振をさせることを目的とした構造をしている。したがって、4つの細胞体モデルを C_{fe1} , C_{ue1} , C_{ff1} , C_{uf1} の順番にバースト発振させることが可能であり、本回路をラット型ロボットに搭載することで1本の脚を駆動することができる。

4. シミュレーション結果

作製したニューロモルフィック回路の動作確認ツールとして 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。

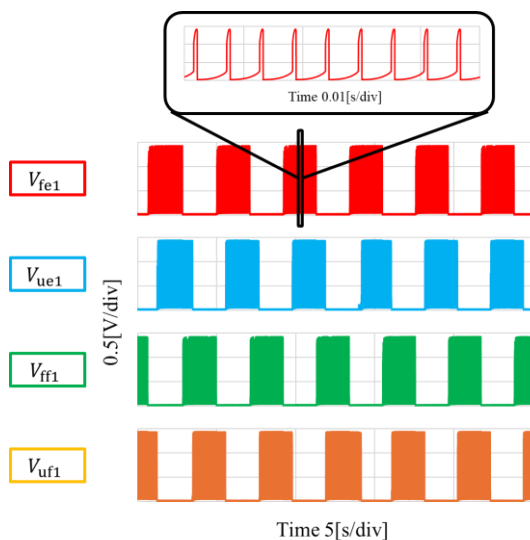


Figure 3 Simulation results of the neuromorphic circuit of the rat-type robot

Figure 3 は、Figure 2 中の細胞体モデル C_{fe1} , C_{ue1} , C_{ff1} , C_{uf1} の出力 V_{fe1} , V_{ue1} , V_{ff1} , V_{uf1} の出力波形を示している。シミュレーションの結果、発振の遅延や逆相等の各出力の位相関係は回路設計時の意図通りの結果となり、 V_{fe1} と V_{ff1} , V_{ue1} と V_{uf1} は交互に発振し、 V_{fe1} , V_{ue1} , V_{ff1} , V_{uf1} の順番でバースト発振することが確認できた。このニューロモルフィック回路をラット型ロボットに搭載することで、1本の脚に接続されている4本の人工筋肉ワイヤの伸縮の制御を通じて脚を駆動することが可能であると考えられる。

5. まとめ

本論文では、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、興奮性シナプスモデル、遅延機能を模倣した興奮性シナプスモデルを組み合わせたニューロモルフィック回路の設計と、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、4つの細胞体モデルの出力が V_{fe1} , V_{ue1} , V_{ff1} , V_{uf1} の順番でバースト発振することを確認し、四足歩行ロボットの1本の脚を駆動するために必要な波形を確認した。今後はニューロモル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搭載した場合の挙動について確認する予定である。

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ある。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ある。本研究は、東京大学 d.lab(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。

6. 参考文献

- [1] M. Raibert, K. Blankespoor, G. Nelson, R. Playter : "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.", IntechOpen, pp.29-50, 2017.
- [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, pp.222-227, 2019