

M-31

受容細胞モデルを搭載した筋肉による駆動を模倣したラット型ロボット用 ニューロモルフィック回路の集積化に対する検討

A Study on Integration of Neuromorphic Circuits for Rat-Type Robots Mimicking Muscle-Driven Motion Using Receptor Cell Models

○金井裕輝¹, 安田祐希², LYU SHUXIN³, 齊藤健⁴*Yuki Kanai¹, Yuki Yasuda², Shuxin Lyu³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are developing a rat-type robot that does not require digital control. The rat-type robot employs an analog electronic circuit model that mimics the functions of the nervous system to control artificial muscle wires attached to its legs. These wires contract and extend when an electric current is applied, enabling control of the robot's walking motion. In this paper, we designed and simulated a neuromorphic circuit incorporating a receptor cell model capable of sensing external stimuli. The simulation results demonstrate that the receptor cell model controls burst oscillation in the circuit.

1. はじめに

現在、歩行ロボットは日常生活の補助や災害現場での救助活動等の様々な活躍が期待されている。しかし、現状の歩行ロボットは制御システムが煩雑であることから、ロボットの大型化が課題となっている。一方で、生物は歩行する際に複雑な計算や情報処理を必要とせず、脊椎によって歩行パターンを生成していると考えられている。しかし、生物の歩行生成のメカニズムは詳しくは解明されていない。

我々は、生物の神経系のモデルをアナログ電子回路で模倣し、作製した回路を生物の体型を再現したロボットに搭載する事で、より生物に近い歩容をするロボットが作製できると考えた。先に我々は、生物の神経系の機能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。更に、足先に搭載した圧力センサから得られる情報をもとに、移動速度に応じた歩容の生成も実現した。しかし、このロボットはアクチュエータにサーボモータを使用しており、制御するためにデジタル回路を必要とする。そこで、現在我々はアナログ回路のみで動作するロボットの実現を目的とし、人工筋肉ワイヤを搭載したネズミ型ロボットの研究を進めている。

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、受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック集積回路のシミュレーション結果が得られたため報告する。

2. ラット型ロボット

Figure1 にラット型ロボットの模型を示す。ラット型

ロボットの各脚部には形状記憶合金で作製した人工筋肉ワイヤを搭載している。人工筋肉ワイヤは電流加熱によって筋肉のように伸縮する。この性質を利用し、後述するニューロモルフィック回路からの出力に応じて人工筋肉ワイヤを伸縮させて脚部を駆動させることができる。

3. ニューロモルフィック回路

Figure2 にラット型ロボットにおける脚部の1つの脚を制御するためのニューロモルフィック回路を示す。Figure2 の C_{fe1} , C_{ff1} , C_{ue1} , C_{uf1} はそれぞれ前腕の伸筋、上腕の伸筋、前腕の屈筋、上腕の屈筋に対応している。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、遅延機能付き興奮性シナプスモデルによって構成されており、Figure2 のように各回路を組み合わせることによって、4つの細胞体モデル C_{fe1} , C_{ff1} , C_{ue1} , C_{uf1} の順に発振させることが可能になる。

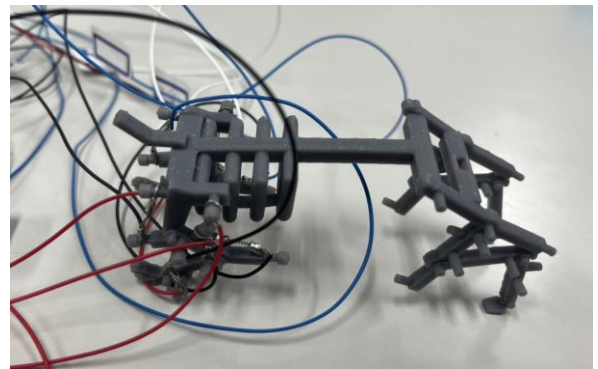


Figure 1. Rat-type robot

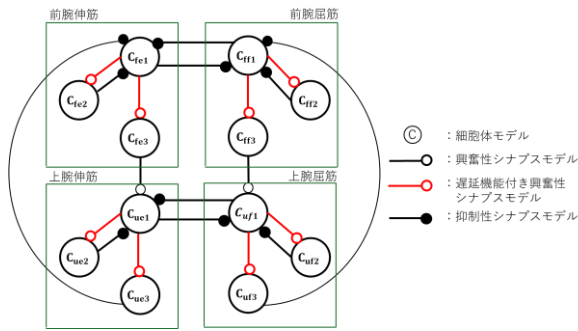


Figure 2. Models of neuromorphic

4. 受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック回路

Figure3 にラット型ロボットの1つの脚を制御するためのニューロモルフィック回路に、受容細胞モデルを搭載した概略図を示す。受容細胞モデルは、ラット型ロボットの各脚部の先に取り付けた圧力センサの入力によって発振し、伸筋に対応する細胞体モデルが発振する。したがって、足先の圧力センサの入力に応じてラット型ロボットの立脚期が延長する。

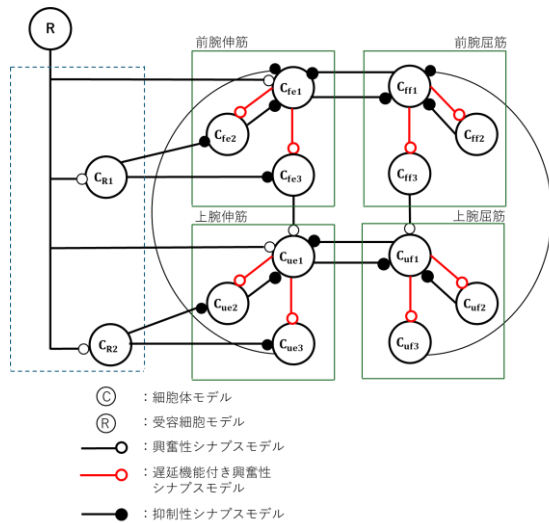


Figure 3. A neuromorphic circuit equipped with a receptor cell model corresponding to one leg of a rat-type robot

5. シミュレーション結果

受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック集積回路の動作確認を行うため、HSPICE を用いてシミュレーションを行った。得られた結果を Figure4 に示す。シミュレーションの結果、受容細胞モデルが発振している間、伸筋に関わる Cfe1, Cue1 が発振し続けていることが確認できた。

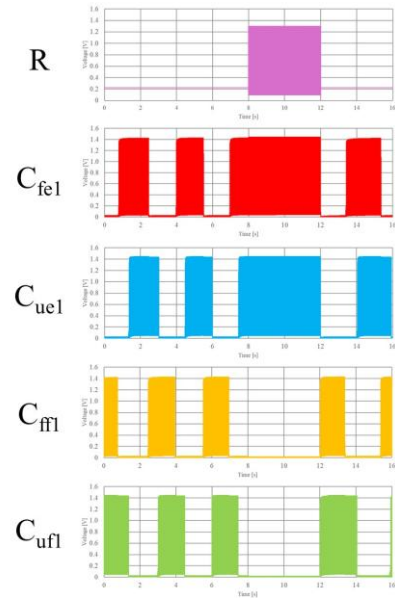


Figure 4. Simulation results of neuromorphic circuits incorporating receptor cell models

6. まとめ

本論文では、HSPICE を用いて開発したラット型ロボット用の受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック集積回路のシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、外部からの刺激を感じ、それに応じてニューロモルフィック回路を制御できることが確認できた。今後は受容細胞を搭載したニューロモルフィック集積回路を実装し、測定を行う予定である。

7. 謝辞

本論文の研究は、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。また、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。

8. 参考文献

[1] K. Saito, M Ohara, M Abe, M Kaneko, F Uchikoba “Gait Generation of Multilegged Robots by using Hardware Artificial Neural Networks.”INTECH,pp29-50,2018.
 [2] 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,Kitasanju,pp.222-227,2019