

四足歩行ロボット用のセンサ入力可能な集積化したニューロモルフィック回路の測定 Measurements of Integrated Neuromorphic Circuits Capable of Sensor Inputs for Quadruped Robots

○陳 普澤¹, 崔 峻豪², 中山涉², LYU SHUXIN³, 齊藤健⁴*Puze Chen¹, Junhao Cui², Wataru Nakayama², Shuxin Lyu³, Ken Saito⁴

Abstract: We are investigating analog electronic circuit models that simulate biological functions. Previously, we have developed a quadruped robot that uses neuromorphic circuits, which mimic biological systems, to generate gaits actively. The authors designed a neuromorphic circuit that processes sensor signals and generates gaits fabricated as an integrated circuit chip. In this paper, we measured the constructed integrated neuromorphic circuit capable of sensor inputs and compared it with circuit simulation. As a result, the difference between the measurement and simulation data did not affect the robot control.

1. はじめに

ロボットの作業安定性を向上させるためには、堅固な構造を備えるだけでなく、安定した移動能力も必要である。

我々は、生物の神経細胞を模倣したアナログ電子回路を設計し、四足歩行ロボットに搭載する研究を行っている。先に我々は、生物の神経をアナログ電子回路で模倣したニューロモルフィック回路を搭載した四足歩行ロボットを開発した。ロボットは、足先に取り付けた圧力センサの強度を脚の駆動速度に変換することで、生物と似たような歩容を生成した。しかし、圧力センサの入力強度は Arduino を介してニューロモルフィック回路に伝達していた^[1]。そこで我々は、生物が外界からの刺激を神経系に伝達する受容体細胞の特性をアナログ電子回路で模倣した、受容細胞モデルを開発した。また、センサの入力強度が受容細胞モデルを通してニューロモルフィック回路に伝達可能な受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック回路を設計した。

本論文では、集積化した受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック回路の、実測結果とシミュレーション結果を比較したので報告する。

2. 四足歩行ロボットの歩容生成

Figure 1 に我々が開発した四足歩行ロボットを示す。ロボットは、ニューロモルフィック回路、圧力センサ、サーボモータ、Arduino を搭載している^[2]。ロボットの動作原理は、足先に取り付けた圧力センサの抵抗値を変化させることで、ロボットの足を一定角度ずつ駆動させている。ロボットの足を駆動するサーボモータは、Arduino のプログラムにより、ニューロモルフィック回路が出力する発振パルスによって角度を変える。

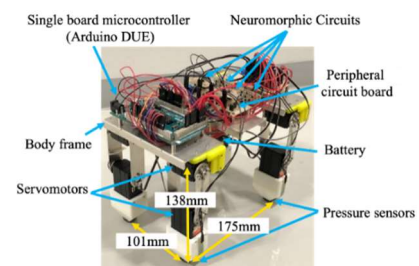


Figure 1. Gait-generating quadruped robot

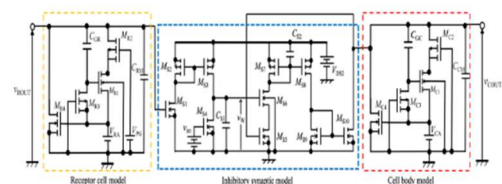


Figure 2. Neuromorphic circuit with integrated circuit Receptor cell model

また、パルス頻度に依存して脚が駆動するため、ロボットの足が地面についていれば遅く動き、地面から離れれば速く動く。

3. ニューロモルフィック回路

Figure 2 に集積化したセンサ入力可能なニューロモルフィック回路を示す。本回路は、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、受容体細胞モデルで構成した。受容体細胞モデルは発振パルス v_{ROUT} を出力し、細胞体モデルの発振パルス v_{COUT} の周波数を変化することが可能である。また、細胞体モデルの発振周波数は受容体細胞モデルの発振周波数が低くなるに従って、細胞体モデルの発振周波数は高くなる。

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

本回路に搭載された受容体細胞モデルは生物の感覚受容器の機能をアナログ電子回路で模倣したモデルである。センサ入力によって決まる電圧 v_{PG} の変化範囲に応じて、受容体細胞モデルの発振周波数を決定し、 v_{ROUT} として出力する。出力した v_{ROUT} は RC 積分回路に入力され、積分された電圧が発振として出力される。その後、出力された電圧は抑制性シナプスモデルにシナプス結合荷重 v_w として入力され、細胞体モデルの発振周波数を抑制する。

4. 集積化したニューロモルフィック回路

Figure 3 は四足歩行ロボットの制御システムにニューロモルフィック回路を実装した IC チップを表す。

5. シミュレーションと実測の比較

Figure 4 に受容ニューロ IC の細胞体モデルの発振周波数のシミュレーション結果と実測結果を示す。シミュレーションと実測の結果に顕著な差はなく、 v_{PG} の変化によって細胞体モデルの発振周波数の変化倍率が約 2 倍であった。

Figure 5 に受容ニューロ IC の抑制性シナプスの荷重電圧 v_w のシミュレーション結果と実測結果の比較を示す。シミュレーションと実測の結果も同様の v_w の変化であった。

6. まとめ

本論文では、集積化した受容細胞モデルを搭載したニューロモルフィック回路の実測結果とシミュレーション結果を比較した。比較の結果、実測データとシミュレーションデータに大きな差はなく、約 2 倍程度の周波数変化があり、ロボットには搭載できることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、令和 2 年度日本大学学術研究助成金 総合研究、および令和 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 d.Lab(旧

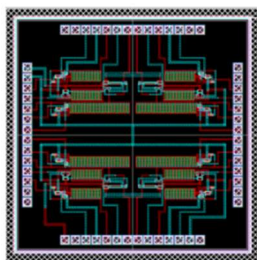


Figure 3. Integrated neuromorphic circuits

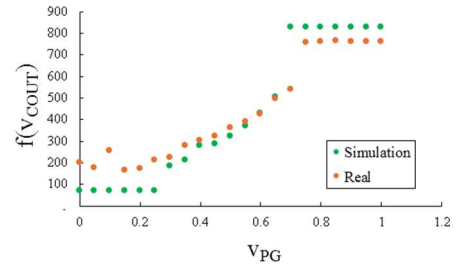


Figure 4. Comparison of simulated and measured of oscillation frequencies

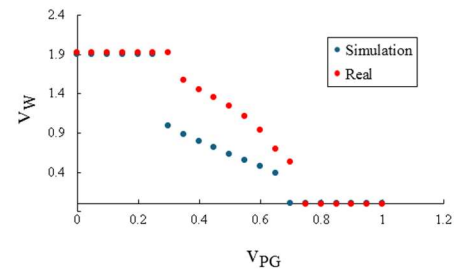


Figure 5. Comparison of simulation and measurement of the load voltage v_w

VDEC)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、シーメンス EDA 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] 中山 渉, 関山晃生, LYU SHUXIN, 森下克之, 齊藤健:「四足歩行ロボットに実装するセンサ入力可能なニューロモルフィック回路の集積化に向けた検討」, 学術講演会予稿集, 2023.
- [2] Takayanagi, H., Usami, Y., Kato, S., Sakaki, A., Morishita, K., Takei, Y., & Saito, K. (2021). A Study on Integration of Neuromorphic Circuits with Self-Feedback for Quadruped Robots. The 34th Workshop on Circuits and Systems on Online, 65th, 35–39.