

受容細胞モデルを搭載した四足歩行ロボットの歩容生成に対する検討 Study of Signal Modulation in Quadruped Robot Equipped with Receptor Model Circuit

○崔 峻豪¹, 石田 暁久², 田邊 魁晟², LYU SHUXIN³, 森下 克幸³, 齊藤 健⁴
*Junhao Cui¹, Akihisa Ishida², Kaisei Tanabe², Shuxin Lyu³, Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: This paper describes a neuromorphic circuit incorporating a receptor cell model that converts information from sensors into a pulse waveform. The quadruped robot developed by the authors previously required toe pressure to be measured using an Arduino DUE. Therefore, the authors considered converting the pressure sensor output into a pulse voltage using the receptor cell model and feeding it back. In the quadruped robot developed, the receptor cell model received the pressure sensor output, which enabled feedback to the neuromorphic circuit without going through the Arduino. As a result, we succeeded in driving a quadrupedal robot like an animal's walking gait.

1. はじめに

現在のロボットシステムは、未だに動物の歩行の機能の完全な再現は困難である。歩行を実現するために生物を模倣した制御システムが数多く存在しており、生物脳に基づいて開発された Artificial Neural Networks (ANN) は脳を機械学習の手法で模倣した数理モデルである。しかし、ANN は膨大な計算量が必要となり時間の応答は遅くなる。

我々は動物のニューロンを模倣したアナログ電子回路であるニューロモーフィック回路を作製し、ロボットに搭載することでロボットを動物のように歩行させる研究をしている^[1, 2]。我々が先に開発した四足歩行ロボットは、4つの圧力センサをロボットの各脚部に搭載し、圧力センサからのフィードバックによって歩容を形成した。しかし、圧力センサの出力は Arduino DUE を用いて測定を行う必要があった。Arduino DUE を用いてニューロモーフィック回路が発振したパルス波及び圧力センサの値を読み取り、ニューロモーフィック回路の発振周期に応じてサーボモータの駆動速度を PWM 制御によって変化させる。

動物と似たような歩容生成に近づけるため、本論文では新しく搭載した受容細胞モデル回路によって、圧力センサからの電圧出力を受容細胞モデルによって受け取れるようにし、Arduino DUE が圧力センサの出力

クできる四足歩行ロボットについて報告する。

2. 受容細胞モデルを搭載したニューロモーフィック回路

Figure 1 に本論文で四足歩行ロボットに搭載するニューロモーフィック回路の回路図を示す。ニューロモーフィック回路は、受容細胞モデル及びシナプスモデル、細胞体モデルで構成した。受容細胞モデル回路はセンサからの情報をパルスに変換する機能を模倣し、細胞体モデル回路に周期的にパルス状の電圧を出力する機能を模倣している。また、閾値及び不応期の特性を持つアナログ回路である。

Figure 2 のように、我々は P-Spice のソフトウェアでシミュレーションを行った結果、時間が 25ms になっている時に圧力センサが v_w の出力電圧が大きくなると共に、 V_{PG} が小さくなり、受容細胞モデルの発振特性が変化して、発振の ON, OFF や発振周波数が大きく変化することを確認した^[3]。また、細胞体モデル回路が発振した電圧の周期が低くなっている。従って、細胞体モデル回路の発振周波数が低くなるほど、受容細胞モデル回路が強く発振する。また、Figure 2 のように、圧力センサの出力は受容細胞モデルによって受け取り、細胞体モデルの発振周期を変える。

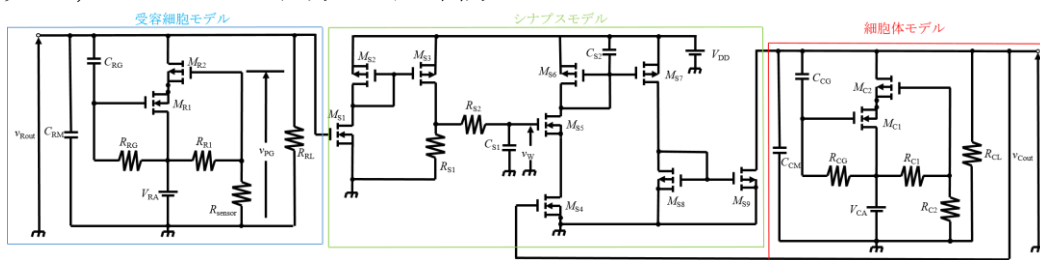


Figure 1. Circuit diagram of the newly mounted neuromorphic circuit

を読み取る必要がなく細胞体モデルへとフィードバック

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

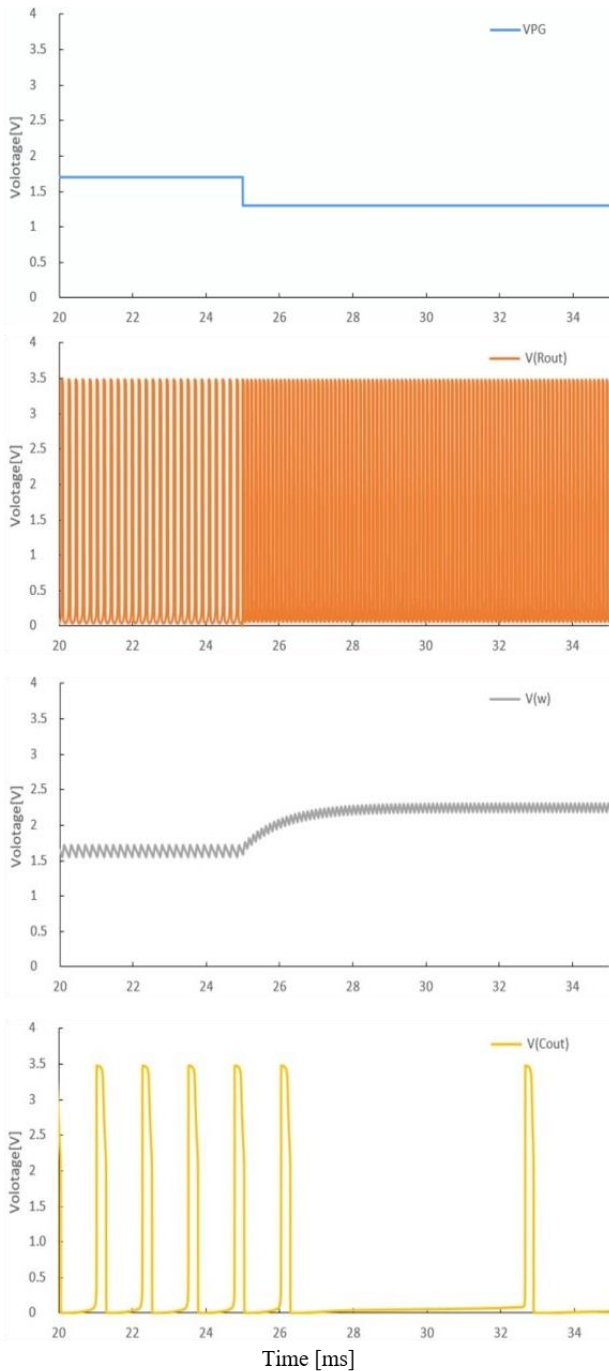


Figure 2. Example of the output waveform of the neuromorphic circuit

3. 受容細胞モデルを搭載した四足歩行ロボット

Figure 3 に受容細胞モデルを組み込んだニューロモフィック回路を搭載した四足歩行ロボットを示す。搭載したニューロモフィック回路は各脚部の圧力センサの信号を受容細胞モデルによってパルス電圧へと変換し、細胞体モデルへと電圧 v_w として印加することによって細胞体モデルの出力電圧のパルス周期が変わる。各脚は細胞体モデルからのパルス入力に応じて一定角度ずつ駆動させる。従って、脚先の圧力に応じ

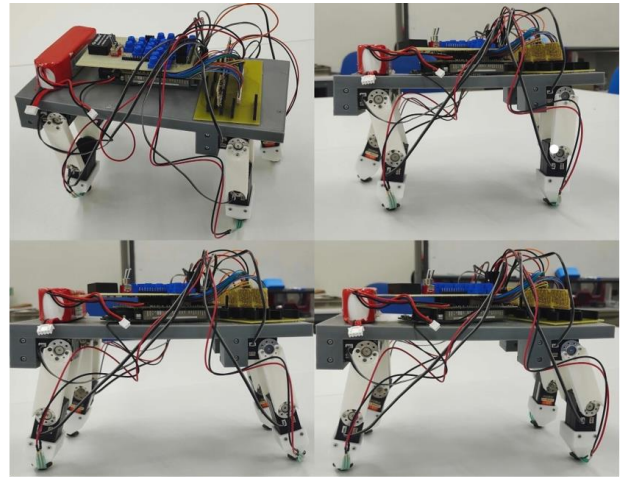


Figure 3. Structure and gait of quadruped robots

て各脚の脚部速度が変化する。各脚部には独立に駆動し、互いの影響が発生しない。

歩行実験の結果を Figure 3 に示す。受容細胞モデルを搭載したニューロモフィック回路を搭載した四足歩行ロボットは足先の圧力に応じて脚部速度が変化する、動物のウォーク歩容のような歩容の生成に成功した。

4. まとめ

本論文は、新しく受容細胞モデルを搭載したニューロモフィック回路を四足歩行ロボットに搭載した。結果として、圧力センサの出力を受容細胞モデルによってパルス電圧へと変換し、以前のように信号処理のための Arduino DUE を用いずに細胞体モデルへとフィードバックして四足歩行ロボットを動物のウォーク歩容のように駆動させることに成功した。今後は四足歩行ロボットについて歩容生成の解析を行う予定である。

5. 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。

6. 参考文献

- [1] Takei Y, Morishita K, Riku Tazawa, Ken Saito. Active Gaits Generation of Quadruped Robot Using Pulse-Type Hardware Neuron Models[J]. Biomimetics, June 9th, 2021.
- [2] Takei Y, Tazawa R, Kaimai T, et al. Dynamic simulation of non-programmed gait generation of quadruped robot[J]. Artificial Life and Robotics, 01 June 2022(27):480–486.
- [3] Morishita K, Takayanagi H, Ishida A, et al. Development of Neuromorphic Circuits with Receptor Cell Model for Animal-Like Gait Generation Using Foot Pressure[J]. Artificial Life and Robotics, 2023.