

K-14

センサ入力可能な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の歩容に対する検討 A Study on Gait of Quadruped Robot Equipped with Sensor Input Capable Neuromorphic Circuits

○中山渉¹, 崔峻豪¹, 陳普澤², LYUSHUXIN³, 齊藤健⁴

*Wataru Nakayama¹, Junhao Cui¹, Puze Chen², Shuxin Lyu³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors have been studying the implementation of neuromorphic circuits using analog circuits that mimic the nervous systems of living organisms into robotic systems. Previously, we developed a quadruped robot that generates animal gait by changing the output frequency of a neuromorphic circuit based on pressure changes in the sole. However, a microcontroller was required to measure the pressure sensors on the sole. Therefore, we modeled receptor cells that convert external stimuli into electrical signals and combined them with the neuromorphic circuit. In this paper, the authors conducted walking experiments using a quadruped robot implemented with a neuromorphic circuit with a receptor cell model. The results of the walking experiments confirmed that the quadruped robot spontaneously generates a gait like "Walk" and "Trot".

1. はじめに

コンピュータの処理能力の向上により、制御の難しい歩行ロボットにおいて、高い運動能力を持つロボットが開発されている。しかし、動物と同等の運動能力は実現されているものの、自律性やロバスト性を持ったロボットは開発されていない。一方、生物は環境に柔軟に適応して運動をすることができる。歩行運動において、脊髄が歩容と呼ばれる歩行パターンを生成していると考えられている。しかし、その歩容パターンのメカニズムは未だ解明されていない。先に我々は、歩容を生成する四足歩行ロボットを開発した。生物の神経系を模倣したニューロモルフィック回路を搭載し、足先の圧力センサの情報を用いて移動速度に応じた歩容の生成を確認した^[1]。しかし、従来のニューロモルフィック回路はセンサの情報を直接入力できず、センサからの入力信号を Arduino を介して伝達する必要があった。そこで、我々は、受容体細胞が持つ特性をアナログ電子回路でモデル化し模倣することで、センサの信号をパルス波形に変換する受容体細胞モデルを開発した^[2]。また、我々は従来のニューロモルフィック回路に受容細胞モデルを組み込むことで、センサからの信号情報を Arduino を介さずに読み取ることができるセンサ入力可能なニューロモルフィック回路を設計した。本稿では、四足歩行ロボットにセンサ入力可能なニューロモルフィック回路を搭載し、歩行実験を行ったので報告する。

2. センサ入力可能な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

Figure 1 にセンサ入力可能なニューロモルフィック回路を示す。センサ入力可能なニューロモルフィック

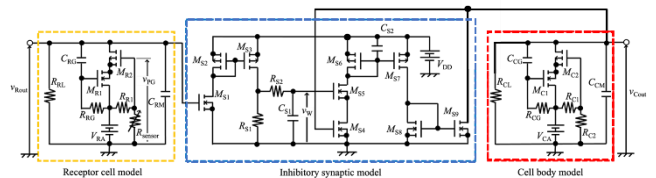


Figure 1. Neuromorphic circuit with sensor input capabilities

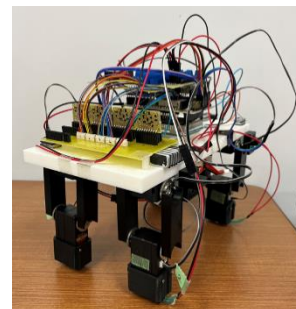


Figure 2. Quadruped robot using neuromorphic circuit with receptor cell model

回路は生物の神経系をアナログ電子回路で模倣した回路であり、細胞体モデル、抑制性シナプスモデル、受容細胞モデルで構成した。回路が動作すると針状の発振パルスを出力する。

Figure 2 に今回開発した四足歩行ロボットを示す。ロボットは、Arduino Due、センサ入力可能なニューロモルフィック回路、サーボモータ、圧力センサ、PLA 樹脂で 3D プリントされた部品で構成した。Arduino Due には予めロボットの脚を一定のパターンごとに動かすプログラムがされており、プログラム上には脚の速度を決める定数が含まれている。ロボットの動作原理を説明する。まず、電源を入れると回路から出力された発振パルスを Arduino Due で読み取る。読み取った発振パルスの立ち上がりの頻度によってサーボモータの

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

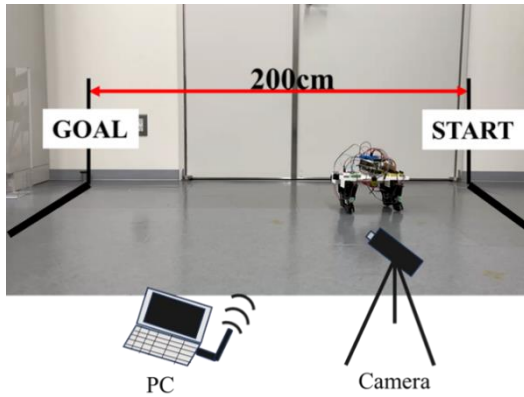


Fig. 3. Walking experiment.

角度を変化させ、脚を駆動させる。ロボットの各脚先には圧力センサが取り付けられており、回路に直接繋がっている。脚先にかかる圧力が大きくなると回路から出力される発振パルスの周波数を減少させ、脚の動きを遅くさせる。

3. 歩行実験

歩行実験は Figure 3 に示した通り実施し、四足歩行ロボットの脚の速度はあらかじめ設定した。実験は四足歩行ロボットを床に置き、床を 200[cm]移動するまで行い、歩行時のロボットの各脚の位相データを取得した。データの取得方法はロボットに搭載されている Bluetooth を経由して PC で記録した。また、歩行実験の様子をカメラで撮影した。

実験結果を Figure 4 および Figure 5 に示す。各データにおいて左前脚を LF、左後脚を LH、右前脚を RF、右後脚を RH と表記している。Figure 3.は Walk 歩容を 41 秒から 45 秒の間に生成したデータである。脚の速度は 4.2rad/s に設定した。Figure 4 において各脚の位相差は $\pi/2$ である。実際の四足歩行動物における Walk 歩容は各脚の位相差が $\pi/2$ である。したがって、四足歩行動物の Walk 歩容が生成された。Figure 4.は Trot 歩容を 101 秒から 106 秒の間に生成したデータである。脚の速度は 5.7rad/s に設定した。Figure 5 における LF, RH(LH, RF)の位相差は、 $\pi/2$ 以下であり、対角線上にある脚との位相差は 2π である。実際の四足歩行動物において Trot 歩容では、LF, RH(LH, RF)が同位相で動く。また、対角線上にある脚との位相差は 2π である。よって、四足歩行動物の Trot 歩容が生成された。

4. まとめ

本論文では、センサ入力可能な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の歩容生成について検討した。従来の四足歩行ロボットからの変更点と

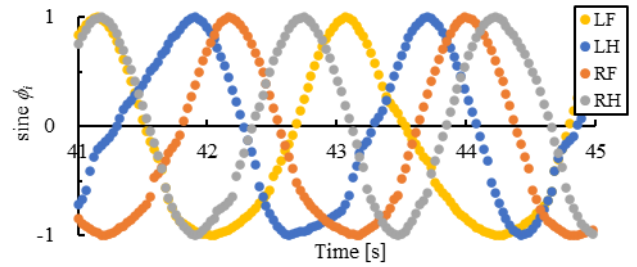


Figure 4. Experiment results of generating a gait like “Walk”.

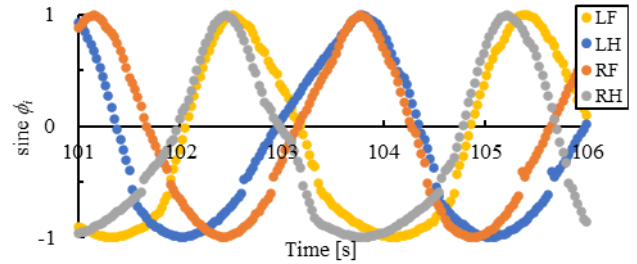


Figure 5. Experiment results of generating a gait like “Trot”.

して、圧力センサ関連のプログラムを省略した。また、センサ入力可能な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の歩行実験を行った。実験の結果、四足歩行ロボットの速度をそれぞれ 4.2rad/s と 5.7rad/s に設定した場合、四足歩行動物の歩容である Walk と Trot が生成された。しかし、生成された歩容はどちらも 5 秒以程度であった。動物の歩容と比べると非常に短い範囲で生成された。この要因として機械的な要因と電気的な要因があると考えられる。将来的には、ロボットの部品をより剛性の高いものに変更し、センサ入力可能なニューロモルフィック回路の集積回路を製作し、Arduino への入力ノイズを低減する予定である。

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。

5. 参考文献

[1]Takei, Y., Morishita, K., & Saito, K., “Quadruped Robots With Bio-Inspired Gait Generation Methods Using Sole Pressure Sensory Feedback”, In Handbook of Research on New Investigations in Artificial Life, AI, and Machine Learning, IGI Global, pp.18-42, 2022
 [2]森下克之, 加藤真也, 武井祐樹, 齊藤健:「センサへの入力強度に応じて発振周波数が変化する受容細胞モデルの開発」, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), 2022年142巻1号, p.33-39