

集積回路化したニューロモーフィック回路を搭載した
四足歩行ロボットの Trot 歩容に対する検討

Study on Trot Gait of Quadruped Robot Equipped with Integrated Circuits of Neuromorphic Circuits

○石田 暁久¹, LYU SHUXIN², 森下 克幸², 齊藤 健³

*Akihisa Ishida¹, Shuxin Lyu², Katsuyuki Morishita², Ken Saito³

Abstract: Previously, the authors confirmed that a quadruped robot equipped with neuromorphic circuits would continue stable gait in a simulation using dynamics analysis but not in the actual robot. This paper studies a quadruped robot equipped with integrated circuits of neuromorphic circuits, which produces a continuous "Trot" gait in a walking experiment. In the walking experiment, the four corners of the quadruped robot were suspended by tegus, which reduced the legs' tendency to pinch, bringing the robot closer to the ideal conditions. As a result, the authors confirm the robot performs a continuous "Trot" gait of about 100 s.

1. はじめに

現在、自立型ロボットは様々な場面における活躍が期待されている。中でも四足歩行ロボットは不整地などでもバランスを取って歩行することが可能である。四足歩行動物は歩行する際に規則的な運動パターンである歩容を用いて歩行をしている。動物の歩容は脊髄に存在する中枢パターンジェネレータによって生成されていると考えられているが、詳しい生成原理については未だ明らかになっていない。

我々は神経細胞であるニューロンをアナログ電子回路で模倣したニューロモーフィック回路を用いて動物の歩容生成をロボットの歩行制御に応用する研究を行っている。先に我々はニューロモーフィック回路に足先の圧力をフィードバックするシステムを四足歩行ロボットに搭載した^[1]。結果として、動物のような歩容の生成と歩行速度による歩容の変化を確認することができた。しかし、歩容継続の時間は短時間であった。一方で動力学解析を用いたシミュレーションにおける理想的な条件では長期間の歩容継続が可能であることが確認されている^[2]。従って、ニューロモーフィック回路を回路特性ばらつきが大きかったディスクリート回路から集積回路化して、ロボットへと搭載した。

本論文では、集積回路化したニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットにおいて“Trot”の歩容を発現した実験データについて検討を行ったため報告する。

2. 四足歩行ロボットの歩行原理

Figure 1 に集積回路化した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細胞体モデルと抑制性シナプスモデルに分けられる。細胞

体モデルは周期的な発振を行い、抑制性シナプスモデルは電圧 v_w の値に応じて細胞体モデルの発振を抑制し、発振周期を長くする。

Figure 2 に集積回路化したニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットを示す。四足歩行ロボットの各脚には圧力センサが取り付けられている。また、搭載した IC チップには Figure 1 のニューロモーフィック回路が 4 つ集積回路化されている。4 足歩行ロボットの各脚はそれぞれの脚に対応したニューロモーフィック回路が発振するたびに一定角度ずつ指定した

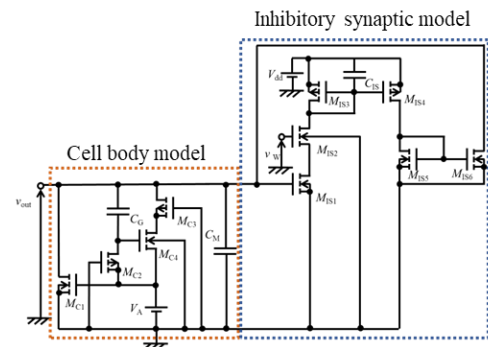


Figure 1. Integrated circuits of neuromorphic circuits

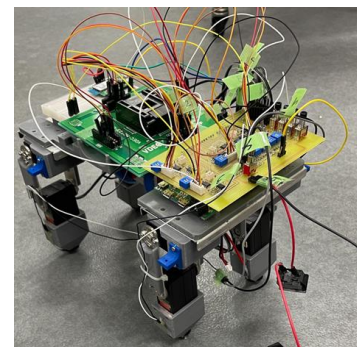


Figure 2. Quadruped robot with integrated circuits of neuromorphic circuits

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

軌道で駆動を行う。従って、ニューロモーフィック回路の発振周期によって各脚の脚部速度が変化する。また、ニューロモーフィック回路に印加する電圧 v_w は各脚の圧力センサによる圧力の変化に応じて増減させる。各脚は個別に制御を行い、各脚の圧力の違いによって4つのニューロモーフィック回路の発振周期に差が生まれ、脚部間の位相がずれることで四足歩行動物に似た歩容を生成する。

3. 歩行実験

Figure 3 に歩行実験の様子を示す。歩行実験はトレッドミル上で行った。また、四足歩行ロボットの四隅をテグスを用いてアルミフレームで作製した囲いにつなぎ、四足歩行ロボットを吊るす形で歩行実験を行った。Figure 4 に示すデータは歩行実験の結果として四足歩行動物の”Trot”に似た歩容が発現したことを確認した結果の1つである。脚部速度は無接地時で約 2.4π [rad/s]、トレッドミルの速度は 0.2 [km/h]である。Figure 4 は左前脚を基準とし、左前脚から他の各脚がどのくらい位相に差があるかを示している。Figure 4 より、歩行実験初めは各脚の位相差は 0 [rad]である。つまり、各脚は同じタイミングで脚を前後に動かしている。しかし、

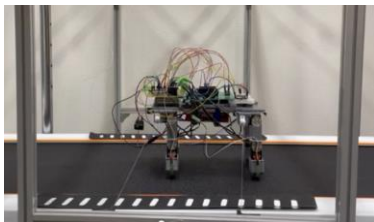


Figure 3. Walking experiment

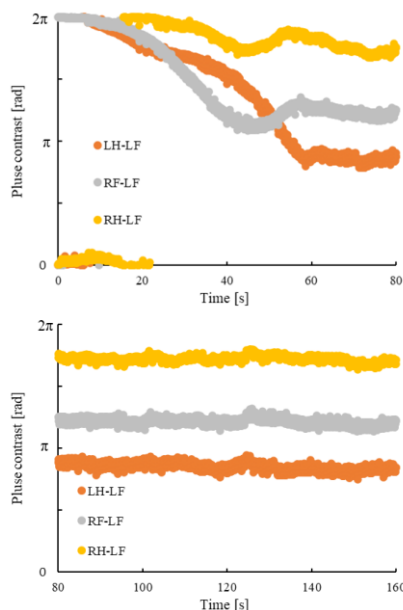


Figure 4. Experimental results with 'Trot' gait

ロボットの細かな重心の移動によって各脚の脚先にかかる圧力に差が生じることによって少しずつ脚部間にずれが生じる。結果として、実験開始後 60 [s]付近より四足歩行動物の歩容の1つである”Trot”の歩容となった。”Trot”の歩容が発現した後は安定し、 100 秒間”Trot”の歩容の維持に成功した。 100 秒の間、歩容が安定して継続した理由の1つとして、四足歩行ロボットを吊るして歩行実験を行ったことにより、四足歩行ロボットがつまずくといったことが少なくなることで理想的な状態に近くなり、各脚ともに同じような圧力のかかり方をしたことが考えられる。結果として、脚部間の位相差は変化せず”Trot”の歩容を維持し続けていると考えられる。

4. まとめ

本論文では集積回路化したニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットにおいて、四足歩行動物の”Trot”の歩容が発現した歩行実験について検討を行った。歩行実験の結果、 100 秒間の”Trot”の発現に成功した。 100 秒間歩容を維持した理由としては、四足歩行ロボットを吊るしたことにより、”Trot”の歩容が発現した後は足先への圧力のかかり方が各脚ともに理想的な状態に近くなり安定した歩容の継続ができたと考えられる。今後としては、歩行実験中に生じる外乱要素などへの対策を行っていく予定である。

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。

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・システムズ社、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、本チップ試作はオンセミコンダクター新潟(株)、凸版印刷(株)の協力で行われたものである。

6. 参考文献

- [1] Yuki Takei, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa, Ken Saito : “Active Gaits Generation of Quadruped Robot Using Pulse-Type Hardware Neuron Models”, IntechOpen, 2021
- [2] Yuki Takei, Riku Tazawa, Takumi Kaimai, Katsuyuki Morishita, Ken Saito : “Dynamic Simulation of Non - Programmed Gait Generation of Quadruped Robot”, Artificial Life and Robotics 27:pp480-48, 2022