

ニューロモルフィック回路を搭載したラクダ型四足歩行ロボットの歩容と移動コストの解析

Gait and Cost of Transport Analysis of Camel-Type Quadruped Robot with Neuromorphic Circuits

山崎 順平^{††} 石田 暁久^{††} 森下 克幸^{††} LYU SHUXIN^{††} 齊藤 健[†]

Jumpei YAMASAKI^{††} Akihisa ISHIDA^{††} Katsuyuki MORISITA^{††} Shuxin LYU Ken SAITO[†]

[†] 日本大学理工学部 ^{††} 日本大学大学院理工学研究科

[†] Collage of Science and Technology, Nihon University ^{††} Graduate School of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

動物は歩行などの定型的な運動を無意識化で行う。脊椎の Central Pattern Generator (CPG) や小脳が制御すると報告されている[1]。また、運動時に周辺状況に応じて歩容と呼ばれる各脚の動きの位相差によって分類される歩行形態を変化させることで効率的に移動することが明らかにされている[2]。そこで、動物の CPG をソフトウェアやハードウェアで模倣しロボットの歩容生成に応用する研究が報告されている[3]。我々は、動物の神経細胞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用いて、四足歩行ロボットの歩容を制御する研究を行っている。過去に我々は、ロボットの構造と歩容生成の関連性を検討するために、ペース歩容が確認されているラクダの身体構造を模倣したラクダ型四足歩行ロボットを作製した。また、歩行実験により同ロボットがペース歩容をすることを確認した。

本論文では、ラクダ型四足歩行ロボットの歩容と移動コストの解析を行ったので報告する。

2. ラクダ型四足歩行ロボット

ラクダ型四足歩行ロボットはラクダの体の構造を参考に作製した PLA, ABS 製のパーツと骨格の駆動部を参考に配置したサーボモータから成る。同ロボットには、ニューロモルフィック回路, Arduino Due, 周辺回路, バッテリー, Bluetooth モジュールを搭載した。また、4 脚の各脚先には圧力センサを取り付けた。

ニューロモルフィック回路はパルス波形を出力する細胞体モデルと、シナプス荷重コントロール電圧 v_W に応じてパルス波形の発振周期 T を変化させる抑制性シナプスモデルで構成されている。同ロボットには 4 つのニューロモルフィック回路が搭載されており、4 つの回路が 4 つの脚それぞれに対応している。ロボットの脚部は、7 つの目標点を辿るように動作する。ロボットのサーボモータはニューロモルフィック回路からのパルス出力のスパイクがロボットに加わるごとに一定角度ずつ駆動する。また、各脚先に取り付けた圧力センサに加わる圧力を Arduino Due によって検知し、圧力の強さに比例した v_W をニューロモルフィック回路に入力する。これにより T が大きくなりサーボモータの動作速度は遅くなる。ロボットはバランスによって生じた圧力変化に応じた歩容を自動的に生成する。

3. 歩行実験

ラクダ型四足歩行ロボットをアルファフレームで作製した囲いに S 字フックとナイロンテグスで固定して歩行実験を行った。実験では歩容、消費電力の測定を行った。

4. 解析

歩行実験より、ラクダ型四足歩行ロボットがペース歩容とトロット歩容を生成することを確認できたので、歩容による移動コストの解析を行った。COT (cost of transport) を用いて歩容なし、ペース歩容、トロット歩容の解析を行った。その結果、歩容なし: 25.78, ペース歩容: 12.79, トロット歩容: 12.16 となった。

5. まとめ

本論文ではラクダ型四足歩行ロボットの作製、歩行実験、また、COT を用いて歩容の解析を行った。解析より同ロボットにとって最も移動コストの少ない歩容はトロット歩容であることが分かった。一方でラクダはトロット歩容での移動は確認されておらず、同ロボットにとって最も移動コストが小さい歩容はペース歩容だと予測していた。予測と結果が一致しなかった理由としては、ロボットがラクダの骨格を完全に模倣できていなかったことなどが挙げられる。

今後は、ラクダの骨格をより忠実に模倣したロボットの作製やロボットシミュレーターを用いた解析を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、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 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・グラフィックス・ジャパン株式会社の協力で行われたものである。また、本チップ試作は東京大学 d.LAB(旧 VDEC)活動を通して、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。

参考文献

- [1] E. Marder and D. Bucher: "Central pattern generators and the control of rhythmic movements", *Current Biology*, vol. 11, pp. R986-R996 (2001).
- [2] M. Coulmance, Y. Gahéry, J. Massion and J. E. Swett: "The placing reaction in the standing cat: A model for the study of posture and movement", *Experimental Brain Research*, vol. 37, pp. 265-281 (1979).
- [3] T. Ishii, S. Masakado, and K. Ishii: "Locomotion of a quadruped robot using CPG", 2004 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, pp. 3179-3184, Budapest, Hungary (2004).