

M-24

ラットの骨格と筋肉による歩行を模倣する歩行ロボット用の中枢パターン生成器モデルの開発 Development of Central Pattern Generator Model for Walking Robot to Mimic Rat Skeleton and Walking by Muscles

○森下克幸¹, 伊藝楓斗², LYUSHUXIN¹, 齊藤健³
*Katsuyuki Morishita¹, Futo Igei², Shuxin Lyu¹, Ken Saito³

Abstract: The authors study a rat-type robot that mimics the rat skeleton. The rat-type robot is equipped with artificial muscle wires and walks by, moving it like a muscle. This paper describes a central pattern generator model that controls the legs of a rat-like robot. The central pattern generator model generates burst waveforms that move the artificial muscle wires attached to the legs of a rat-type robot in the order of forearm extensors, forearm flexors, upper arm extensors, and upper arm flexors, which is the pattern required for walking. We confirmed with a circuit simulator that the central pattern generation model generates the required waveforms.

1. はじめに

現在、不整地でも安定して移動可能なロボットとして、歩行ロボットが注目されている。しかし、歩行ロボットは現在主流の車輪型の移動ロボットと比較して複雑な制御システムが必要であり、機体の大型化などの問題がある。小さな歩行ロボットの制御システムえお実現するために、動物の神経系を模倣する研究が行われている。動物の神経系は優れた自律制御機能を持ち、ラットなどの小さな動物の神経系でも優れた自律制御を実現している。したがって、動物の神経系の機能を模倣することは、優れた自律制御が可能なロボット制御システムの開発に繋がると考えられる。

著者らは動物の神経細胞を模倣した Pulse-type hardware neuron model (P-HNM)を用いて歩行ロボットを制御する研究を行っている^[1]。我々はこれまでに P-HNM で構成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開発した^[2]。開発した四足歩行ロボットの脚部はそれぞれ独立して制御され、脚の先に搭載した圧力センサのフィードバックにより各脚の速度が変化する単純制御であるが、地面に置くことで四足歩行ロボットは動物のような歩容を生成し歩くことができます。これまでに我々は P-HNM を用いて、四足歩行ロボットの歩行制御システムを開発した。しかし、これまでに我々が開発したロボットはサーボモータを使用したため、マイクロコントローラ等の回路を用いて駆動信号を生成するデジタル制御が必要であった。

現在、我々はデジタル制御を必要せずに歩容生成が可能なラット型ロボットを開発している。ラット型ロボットは制御回路に P-HNM で構成した中枢パターン生成器(Central Pattern Generator : CPG)モデルを、アクチュエータに人工筋肉ワイヤを使用し、デジタル制御

を必要とせずに歩行することが可能である。さらに、各脚に受容細胞の機能を模倣した受容細胞モデルを搭載し、各脚先の圧力センサの入力に応じて立脚期を延長する。

本論文ではラット型ロボットの脚部制御用の CPG モデルについて説明する。CPG モデルは、ラット型ロボットの脚部を動作させるパターンの生成を行う。CPG モデルの設計を行い、動作を回路シミュレーションにより確認したので報告する。

2. ラット型ロボット

図1にラット型ロボットを示す。ラット型ロボットは全長:16 cm, 高さ:7.0 cm, 幅:6.0 cm であり、各脚部に伸筋・屈筋を模倣した人工筋肉ワイヤを搭載している。ラット型ロボットの脚部は人工筋肉ワイヤが、前腕の伸筋、上腕の伸筋、前腕の屈筋、上腕の屈筋の順番で伸縮することで脚部が駆動する。

3. ラット型ロボットの歩行制御用 CPG モデル

図2にラット型ロボットの脚部を駆動する CPG モデルの概略図を示す。CPG モデルはニューロンの特性と出力を模倣した細胞体モデルとシナプスの特性を模倣

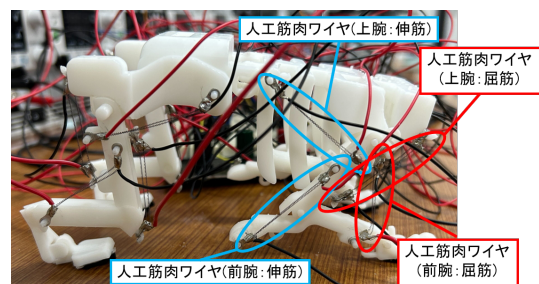


Figure 1. The Rat-type robot mimicking the musculoskeletal structure of a rat

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

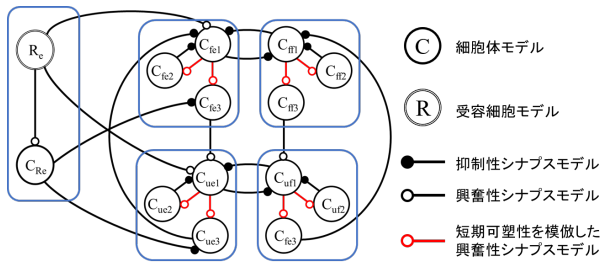


Figure 2. Schematic of the CPG model for leg control of the rat-type robot

したシナプスモデル，受容細胞を模倣した受容細胞モデルで構成した^{[1][3]}。C_{fe1}，C_{ue1}，C_{ff1}，C_{ufl}はそれぞれ前腕の伸筋，上腕の伸筋，前腕の屈筋，上腕の屈筋の人工筋肉ワイヤに対応している。細胞体モデルがバースト発振と，対応する人工筋肉ワイヤに電流が流れ伸縮する。C_{fe1}とC_{ff1}，C_{ue1}とC_{ufl}はそれぞれ抑制性シナプスモデルで相互に接続しており，片方の細胞体モデルが発振する間，もう一方の細胞体モデルは発振しない。C_{fe1}，C_{ue1}，C_{ff1}，C_{ufl}はそれぞれC_{fe2}，C_{ue2}，C_{ff2}，C_{ufr}に短期可塑性を模倣した興奮性シナプスモデルで接続し，一定期間発振し続けると発振が止まりもう一步の細胞体モデルが発振する。また，受容細胞モデルR_eはC_{fe1}とC_{ue1}に興奮性シナプスモデルで接続し，さらにR_eからの入力により発振するC_{Re}はC_{fe3}とC_{ue3}に抑制性シナプスモデルで接続する。受容細胞モデルは各脚先の圧力センサの入力により発振し，伸筋に対応する細胞体モデルを発振させる。したがって，各脚部は脚先の圧力センサの入力に応じて立脚期が延長し，従来の歩容生成する四足歩行ロボットに脚先の圧力により脚の周期が長くなる。

図3にCPGモデルのシミュレーション結果を示す。シミュレーションにはCadence社のPSpiceを使用した。図よりC_{fe1}とC_{ff1}，C_{ue1}とC_{ufl}が交互に発振し，C_{fe1}，C_{ue1}，C_{ff1}，C_{ufl}の順番で発振することが確認できる。また，受容細胞モデルの発振によりC_{fe1}とC_{ue1}が発振し続け，立脚期が延長されることが確認できる。

4. まとめ

本論文ではラット型ロボットの脚部制御用CPGモデルについて説明した。CPGモデルは脚部を駆動するために必要なパターンの波形を生成し，また受容細胞モデルの入力により立脚期を延長することができる。我々はシミュレーションによりCPGモデルの動作を確認し，目的の特性を持つことを確認した。

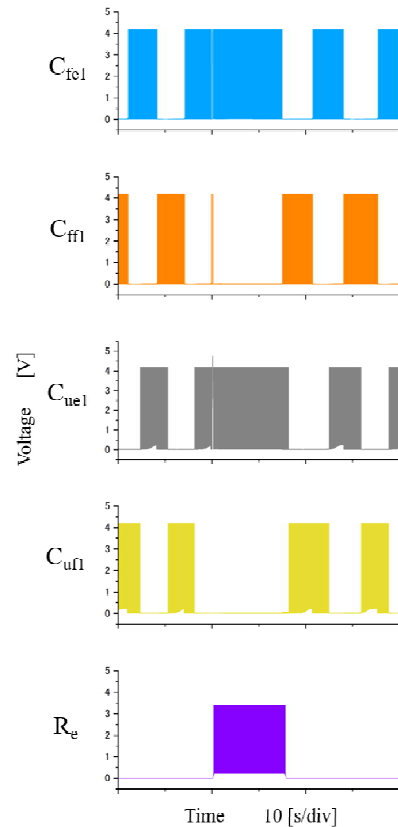


Figure 3. Simulation results of the CPG model for leg control of the rat-type robot

今後はCPGモデルの実装とロボットへの搭載を行う予定である。

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] K. Saito, M. Ohara, M. Abe, M. Kaneko, F. Uchikoba : “Gait Generation of Multilegged Robots by using Hardware Artificial Neural Networks.” INTECH, pp.29-50, 2018.
 [2] Y. Takei, K. Morishita, R. Tazawa, K. Katsuya, K. Saito: “Non-programmed gait generation of quadruped robot using pulse-type hardware neuron models.” Artificial Life and Robotics, Vol. 26, pp. 109-115, 2021.
 [3] 森下克幸, 加藤真也, 武井裕樹, 齊藤健 : 「センサへの入力強度に応じて発振周波数に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), Vol.142, No.1, pp.33-39, 2022.