

M-6

筋繊維制御ニューラルネットワークを用いた四足歩行ロボットに対する一検討
A Study on the Introduction of Muscle Fiber Controlled Neural Network to Quadruped Robot

○竹内佑樹¹, 佐々木芳樹²
*Yuki Takeuchi¹, Yoshiki Sasaki²

Abstract: In recent years, it has become desirable for quadruped robots to be able to walk under various conditions. In response to this issue, a gait control method called the CPG model has been proposed. However, the CPG model only controls walking patterns and does not take muscle fiber motion into account. In this study, we proposed a muscle fiber neural network that can be applied to a quadruped robot. As a result, it was clarified that the flexor and extensor muscles can be controlled according to the ground contact state of the sole of the foot, compared to the conventional CPG model.

1. まえがき

生理学において、生物の脊髄内にある頸膨大が神経回路網を形成することで Central Pattern Generator (CPG)として動作し、歩行運動を制御していると考えられている[1]. この生理学的な動作をハードウェア応用する研究として、スパイクングニューロンモデルを用いて CPG モデルを構築し、四足歩行ロボットに対し自律的な歩容生成機能を与える検討が行われている[2]. しかし、生成した歩容をロボットの運動出力に変換する際、DC モータを用いた回転型のリンク機構やサーボモータを用いたデジタルな制御等の、生体とは異なる制御機構が用いられる。生体を考慮した四足歩行ロボットを考えた場合、CPG モデルの出力は屈筋や伸筋などの筋繊維を考慮する必要がある。

本稿では、筋繊維を考慮した四足歩行ロボットを想定し、ニューロンモデル[3]を用いて筋繊維制御ニューラルネットワークの構築を行った。また、足裏の触覚を伝達するニューロンモデル、モータへの出力における細胞体モデル集団回路の構築を行った。更に、構築した回路の動作についてシミュレーションを行い検討したので報告する。

2. 本論

図1に、提案した四足歩行ロボット制御システムの基本構成をブロック図で示す。同図は、圧力センサ、触覚ニューロンモデル回路、信号加算回路、筋繊維制御ニューラルネットワーク、細胞体モデル集団回路により構成している。本構成は、ロボットの足裏に装着した圧力センサからの電気信号により屈筋および伸筋に相当する筋繊維を相互に興奮または抑制を行うことで、歩行の遷移状態を制御する。なお、圧力センサとしてインターリンク社のFSR400 SHORT を用いた。

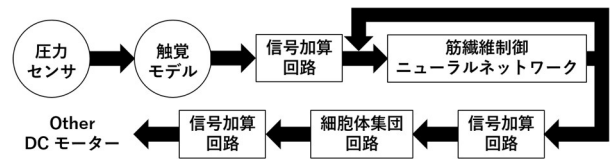


図1 四足歩行ロボット制御システムの構成

図2に、構築した触覚モデルのブロック図を示す。同図に示す回路は、足裏に印加された圧力を、圧力センサを用いて電圧情報へと変換し、後段の他励振ニューロンモデルへと入力する。圧力センサの抵抗値2kΩ以下になることで、他励振ニューロンモデルがしきい値条件を満たし、スパイクを出力するよう設定した。なお、ロボスタ性を確保するため、一つの足裏には複数の圧力センサを接続し、各圧力センサはそれぞれ異なる他励振ニューロンモデルに接続している。複数の他励振ニューロンモデルの出力信号は信号加算回路を通じて統合され、筋繊維制御ニューラルネットワークへ出力する構成とした。

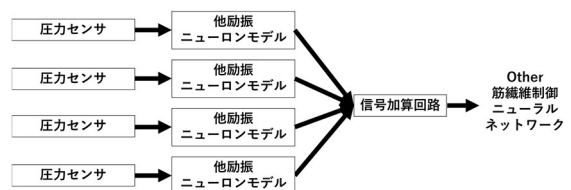


図2 触覚モデルの構成

図3に、図1をもとに構築した筋繊維制御ネットワークの一例を示す。同図は、生体の屈筋および伸筋を考慮したものである。同図において、L1EXTは膝関節伸筋と、L1FLEXは膝関節屈筋と、L2EXTは股関節伸筋と、L2FLEXは股関節屈筋と対応している。ロボット脚部の足裏に装着した圧力センサが地面に接地することにより、抵抗値が非接地時の6MΩから2kΩに変

1 : 日大理工・学部・電子 2 : 日大理工・教員・電子

動する。この変動を触覚モデルが発火活動へと変換し、膝関節伸筋を興奮させることで筋繊維制御ニューラルネットワークが接地状況に応じ制御できる。

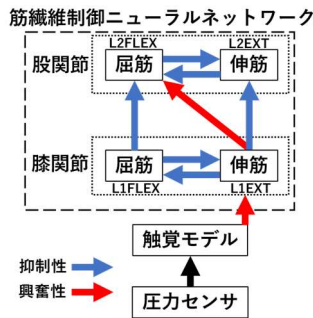


図3 筋繊維制御ニューラルネットワークの構成

図4に、使用したニューロンモデルの回路構成を示す。図2に示した複数の他励振ニューロンモデルにより構成した細胞体集団として動作させる場合、非同期性を他励振ニューロンモデルに与えるために、図4内の静電容量 C_G を、100fF から 900fF まで変え、発火周波数を全て変更している。発火周波数を全て変更することにより信号加算回路で断続的なパルスを生成することが可能であるため、DC モータの制御に適した波形を生成可能である。

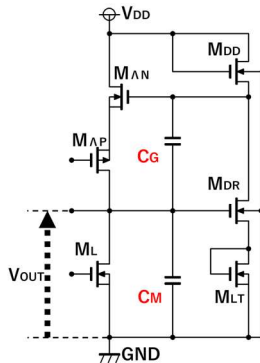


図4 パルス形カオスニューロンモデル[3]

図5に、図3の構成をシミュレーションした結果を示す。図中、横軸に動作時間、縦軸に動作電圧および電流を示す。なお、足裏の圧力センサを入力信号とし、シミュレーション上で抵抗値を擬似的に変更することで入力信号は、触覚モデルの出力信号とした。解析に、回路シミュレータ HSPICE を使い、VLSI CMOS プロセスには Rohm 社 0.18 μ m CMOS プロセスを用いた。同図に示すとおり、地面接地時、触覚モデルがスパイクを入力すると L1EXT はスパイクを出力し L1FLEX のスパイクは抑制している。また、L2FLEX, L2EXT も同様の動作をしている。これは、屈筋および、伸筋の筋繊維を考慮した足制御可能であることを示している。

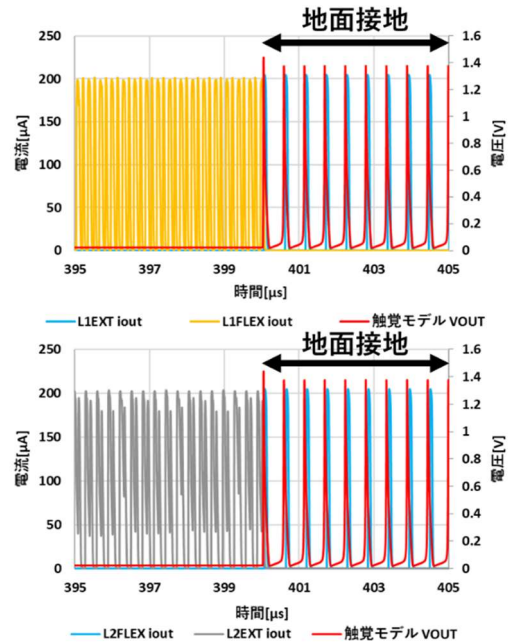


図5 動作波形

3. まとめ

今回、筋繊維を考慮した四足歩行ロボットを想定し、ニューロンモデルを用いて筋繊維制御ニューラルネットワークの構築を行った。また、足裏の触覚を伝達するニューロンモデル、モータへの出力における細胞体モデル集団回路の構築を行い、動作確認を行った。その結果、足裏の接地状態に応じて、屈筋および伸筋を制御可能であることを明らかにした。

今後は、IC チップの作成を行い、四足歩行ロボットを動作させる予定である。

謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育センターを通し、シノプシス株式会社、及び日本ケイデンス株式会社の協力で行われたものである。

参考文献

- [1] 伊藤宏司：「歩行運動とリズム生成」, 日本ロボット学会誌, VoL.11, No.3, pp320-325, 1993
- [2] 竹前諒也, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹：「ハードウェア CPG モデルを用いた四足歩行ロボットのための腰部駆動回路に対する一検討」, 令和4年度 日本大学理工学部 学術講演会 予稿集, pp.761-762, 2022.
- [3] 佐々木芳樹, 佐伯勝敏：「自動補正機構を有するパルス形カオスニューロンモデル」, 電子情報通信学会論文誌エレクトロニクス, VoL.J104-C, No.8, pp.233-239, 2021.