

M-6

光刺激による停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路の検討

A Study on Neuromorphic Circuit Capable of Stopping and Changing Direction in Response to Light Stimuli

○村本大和¹, 関山晃生¹, LYU SHUXIN², 齊藤健³

*Yamato Muramoto¹, Kosei Sekiyama¹, Shuxin Lyu², Ken Saito³

Abstract: The authors study insect-like microrobots that act autonomously by applying analog electronic circuits that mimic biological neurons to motion control. So far, the authors have mounted a neuromorphic chip on an insect-like microrobot and successfully walked with a single gait pattern. However, the insect microrobot was not equipped with sensors and could not stop or change direction in response to the external environment. Therefore, we combined a gait-generating circuit with a receptor cell model that mimics the function of biological receptor cells. In this paper, we report the fabrication of a neuromorphic circuit that can stop and change direction in response to light stimuli.

1. はじめに

近年、マイクロロボットは災害現場での捜索活動や配管内作業など、人間や大型ロボットの活動が難しい狭い空間での活躍が期待されている。しかし、ロボットの小型化を実現させるためには機能が制限される等、制約も存在する。マイクロロボットの研究では、昆虫の機能や機構を模倣する手法が代表的である [1] [2]。

我々は生物の神経細胞を模倣したアナログ電子回路を動作制御に応用することで、自律的に行動する昆虫型マイクロロボットの研究を行っている。ロボットの制御において生物のニューラルネットワークを模倣したアナログ電子回路モデルを用いることで、生物にみられる柔軟性の高い行動を生成できる可能性がある。従来のデジタル制御手法に対し、アナログ電子回路は生物的特性をより忠実に再現でき、外部環境への適応力に有利であると考えられる。先に我々は、昆虫型マイクロロボットにニューロモルフィックチップを搭載し、単一の歩容パターンでの歩行に成功した。しかし、昆虫型マイクロロボットはセンサを搭載しておらず、環境に応じた歩行を切り替えることができず、停止や方向転換を行うことができない。昆虫は、外部環境に応じて方向転換などをしながら障害物を避けて効率的な移動を行う。したがって、我々はマイクロロボットにセンサを実装し、停止・方向転換を行うために受容細胞に着目し、外部刺激を電気信号に変換する機能を模倣した受容細胞モデルを開発した [3]。

本論文では、歩容生成回路、受容細胞モデル、積分回路を組み合わせ、光刺激で停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路を提案し、光刺激に対する変化の回路シミュレーション結果を報告する。

2. 光刺激で停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路

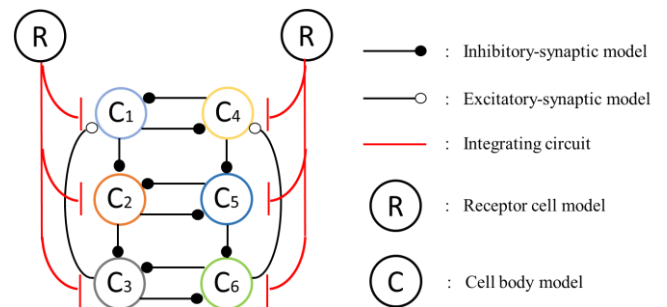


Figure 1. Schematic diagram of a neuromorphic circuit capable of stopping and changing direction with light stimulation

Figure 1 に光刺激で停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路の概略図を示す。この回路は、歩容生成回路と受容細胞モデル、積分回路を用いており、6個の細胞体モデル、10個の抑制性シナプスモデル、2個の興奮性シナプスモデルで構成した。6個の細胞体モデルそれぞれが各脚にそれぞれパルス波形を出力し、三脚歩容のパターンを生成する。右側の受容細胞モデルに光が照射された場合、右側の細胞体モデルが発振を停止し、左側の細胞体モデルは発振を継続する。左側の受容細胞モデルに光が照射された場合、逆の動きを行う。さらに、両側の受容細胞モデルに光が照射された場合、すべての細胞体モデルが発振を停止する。

3. 回路シミュレーション結果

Figure 2 に両側の受容細胞モデルに光を照射していない場合の出力パルス波形を示す。同図より、C₁, C₅, C₃と C₄, C₂, C₆ が逆位相同期したパルス波形を出力し、三

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

脚歩容のパターンを確認した。

Figure 3 に右側の受容細胞モデルに光を照射した場合の出力パルス波形を示す。同図より、 C_1, C_3 と C_2 が逆位相同期したパルス波形を出力し、 C_4, C_5, C_6 は、発振を停止しているパルス波形を出力していることを確認した。

Figure 4 に両側の受容細胞モデルに光を照射した場合の出力パルス波形を示す。同図より、すべての細胞体モデルが発振を停止しているパルス波形を出力していることを確認した。

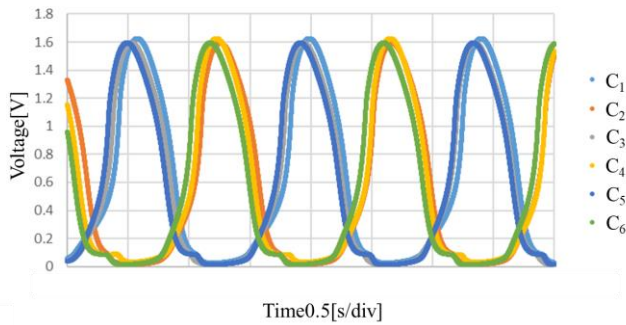


Figure 2. tripod gait pattern

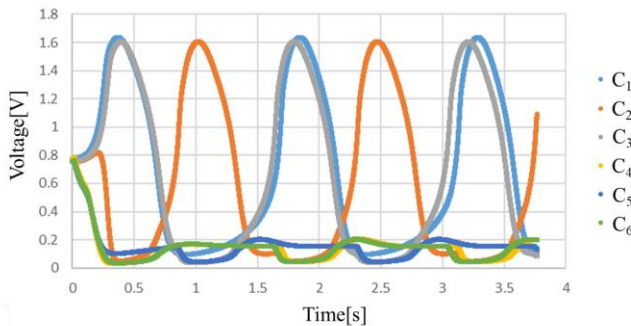


Figure 3. The waveform when light is applied to the right-side receptor cell model

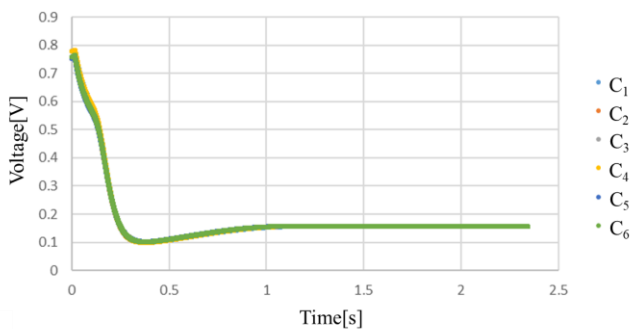


Figure 4. The waveform when light is applied to all acceptance cell models

4. まとめ

本論文では、歩容生成回路と受容細胞モデル、積分回路を組み合わせ、光刺激で停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路を提案し、光刺激に対する出力パルス波形の回路シミュレーションを行った。回路シミュレーションの結果、右側の受容細胞モデルに光を照射した場合、右側の細胞体モデルが発振を停止し、左側の細胞体モデルは発振を継続することを確認した。左側の受容細胞モデルに光を照射した場合、逆の動きを行う。また、両側の受容細胞モデルに光を照射した場合、すべての細胞体モデルが発振を停止することを確認した。

今後は、提案した光刺激で停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路の集積回路化を行い、駆動実験を行う予定である。

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。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] T. Baisch and Robert J. Wood : “Pop-up Assembly of a Quadrupedal Ambulatory MicroRobot”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) November 3-7, 2013
- [2] M. Qi, Y. Zhu, Z. Liu, X. Zhang, X. Yan and L. Lin, A fast-moving electrostatic crawling insect, 2017 IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), Las Vegas, NV, USA, 2017.
- [3] K. Morishita, S. Kato, Y. Takei, K. Saito, Development of Receptor Cell Model with Oscillation Frequency-Dependent on Sensor Input Intensity, The papers of technical meeting on electronic circuits, IEEE japan, vol 142, no.1, pp.33-39, 2022.