

M-33

光刺激に応じて停止・旋回制御可能なニューロモルフィック回路の測定結果

Development of Neuromorphic integrated Circuit with Stopping and Turning in Response to Light-Stimulation

○佐野慶真¹, 祁一銘², 村本大和², LYU SHUXIN³, 齊藤健⁴
 *Keima Sano¹, Yiming Qi², Yamato Muramoto², SHUXIN LYU³, Ken Saito⁴

Abstract: We are researching insect-type microrobots that autonomously behave by applying analog electronic circuits mimicking biological neurons for motion control. Previously, we successfully equipped the microrobots with neuromorphic circuits, enabling walking with a single gait pattern. However, since the insect-like microrobots were not equipped with sensors, they could not adapt their walking patterns to external environments. To address this, we connected previously developed photovoltaic cells to enable the reception of light stimuli, allowing for the control of the neuromorphic chip. This paper reports the measurement results of the neuromorphic circuit capable of turning and stopping in response to light stimuli.

1. はじめに

近年、災害現場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困難な狭い空間にてマイクロロボットが活躍することを期待される。しかし、ロボットの小型化を実現させるためには機能が限られるなどの課題が発生する。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]}。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、従来のデジタル制御手法に比べ、より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。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、環境に応じた行動をすることはできない。そこで、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]。さらに、先に開発した太陽電池(Photovoltaic cell)を接続し光刺激を受け取ることを可能にすることで、ニューロモルフィックチップの光での制御を可能にした。

本論文では、昆虫の代表的な歩き方である三脚歩容を生成する歩容生成回路、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、積分回路を組み合わせ、光刺激で停止・方向転換が可能なニューロモルフィック回路を設計し、光刺激に対する出力パルス波形の回路測定を行ったので報告する。

このニューロモルフィック回路(Figure1)は、光刺激によって歩行パターンを停止・方向転換させるものである。回路は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から構成されており、歩容生成回路、受容細胞モデル、積分回路を用いている。6個の細胞体モデルはそれぞれ各脚にパルス波形を出力し、三脚歩容のパターンを生成する。右側の細胞体モデルに光が照射されたとき、右側の細胞体モデルは停止し、左側の細胞体モデルは継続して発信することで旋回を行う。光を左から照射した場合は逆の動きを行う。両側から光を照射された場合、すべての細胞体モデルは発振を停止する。

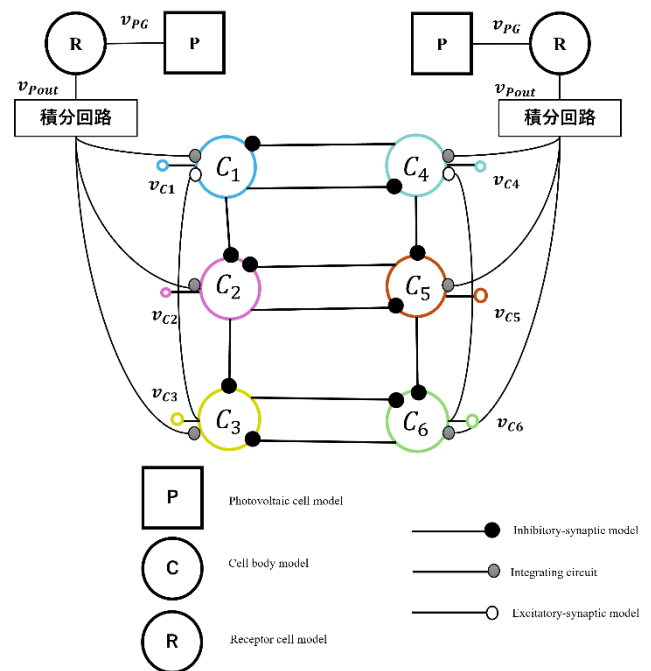


Figure1. Neuromorphic integrated circuit that performs turning and stopping based on light stimulation

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

1: 日大理工・学部・精機 2: 日大理工・院(前)精機 3: 日大理工・院(後)精機 4: 日大理工・教員・精機

3. 測定結果

Figure2にて、太陽電池に光を照射していない場合の出力パルス波形と左側の受容細胞モデルにあたる部分に光を照射した場合の出力パルス波形を示す。左の図より、 $C_1C_2C_3$ に対し、 $C_4C_5C_6$ が逆位相を形成する三脚歩容を行うことが確認できる。右図より、 $C_1C_2C_3$ は継続してパルス波形を出力しているが、 $C_4C_5C_6$ は停止していることが確認できた。

Figure3にて、右側の受容細胞モデルにあたる部分に光を照射した場合の出力パルス波形と、両側の太陽電池に光を照射した場合の出力パルス波形を示す。左図より $C_1C_2C_3$ は停止しているが、 $C_4C_5C_6$ は継続してパルス波形を出力していることがわかる。右図より、両側に光が照射されていると停止することが確認できた。

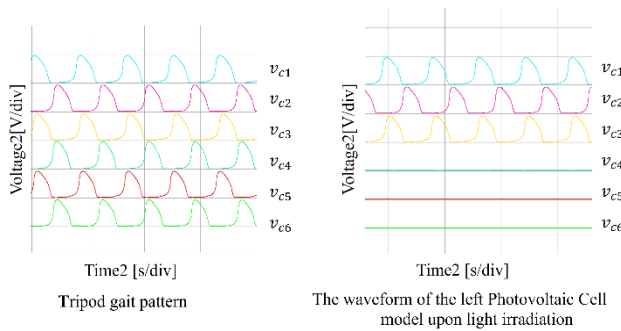


Figure2.measurement results 1

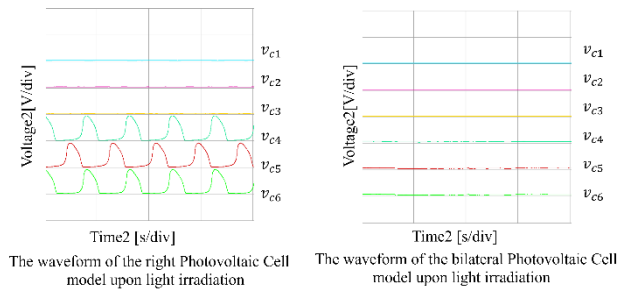


Figure3.measurement results 2

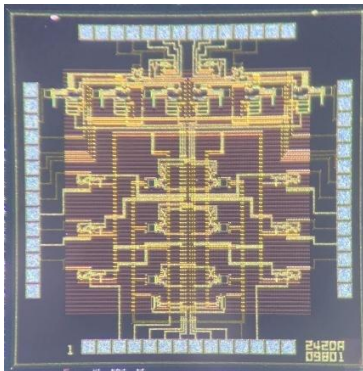


Figure4. The chip used for measurement

4. まとめ

本論文では、作製した停止・方向転換可能なニューロモルフィック回路に太陽電池を接続し、実際に光刺激に対する出力パルス波形の駆動実験を行った。測定の結果、光刺激に応じて旋回、停止をすることが可能であることを確認できた。

今後は、作製した集積回路を昆虫型マイクロロボットに搭載し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年度日本大特別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.