

マイクロロボットの歩行生成回路にセンサ入力する受容体細胞モデルの開発 Development of Receptor Cell Model for Sensor Input to Gait Generation Circuit for Microrobots

○関山晃生¹, 中山渉¹, 大隈井輔¹, LYU SHUXIN², 森下克幸², 齊藤健³
*Kosei Sekiyama¹, Wataru Nakayama¹, Isume Okuma¹, Shuxin Lyu², Katsuyuki Morishita², Ken Saito³

Abstract: This paper describes a receptor cell model with new output frequency characteristics for integration into microrobot gait generation circuits. The receptor cell model is an oscillation circuit that mimics the function of a biological receptor cell. The previously developed receptor cell model has a characteristic that the oscillation frequency of the output pulse waveform becomes lower as the applied voltage increases, which is not convenient for incorporating into microrobot gait generation circuits. The modified receptor cell model oscillated in the range of 0.21~0.47 V applied voltage, and the oscillation frequency changed from 1.85 kHz to 12.5 kHz as the applied voltage was increased.

1. はじめに

マイクロロボットは災害現場や細管内など、人や大型ロボットの侵入が困難である狭い空間での活躍が期待されている。昆虫はミリメートルサイズと小型ながら優れた情報処理機能と機構を持ち、高度な自律行動が可能のため、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多く取られている^[1]。

我々は、生物のニューラルネットワークをアナログ電子回路で模倣し、マイクロロボットの制御回路に応用する研究を行っている。これまでの研究で、ニューラルネットワーク集積回路を搭載した昆虫型マイクロロボットは、単一の歩容パターンによる歩行に成功した^[2]。現在、マイクロロボットは、外部環境に応じた歩行を目指している。現状のマイクロロボットは外部環境を認知するセンサが未搭載である。我々はマイクロロボットに搭載可能なセンサシステムとして、生物の感覚器に存在する受容細胞の機能をアナログ電子回路で模倣した受容細胞モデルを開発した^[3]。受容細胞モデルは印加する電圧によって発振周波数が変化する発振回路である。現在、我々は受容細胞モデルに太陽電池を接続することでセンサとして利用することを想定している。しかし、現状の太陽電池を接続した受容細胞モデルは太陽電池に照射する光量の増加に従い、発振周波数が低くなる特性を持ち、マイクロロボットの歩行生成回路に組み込むには不都合な出力周波数特性であった。そこで、我々は受容細胞モデルの各素子のパラメータや接続法を見直し、異なる出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計した。

本稿では、新たな出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計し、HSPICEによるシミュレーションを行ったので報告する。

2. 改良した受容細胞モデル

Figure 1に改良した受容細胞モデルの回路図を示す。受容細胞モデルはパルス波形を出力する発振回路である。受容細胞モデルは V_{AR} と V_{PG} に発振条件を満たす電圧が印加された時のみパルス波形を出力する。出力するパルス波形の発振周波数は印加する V_{PG} の大きさで変化する。従来の受容細胞モデルはp-channel MOSFETである M_{RC4} のゲート電圧に正電圧を印加し、 V_{PG} が大きくなるに従い発振周波数が低くなる特性を持つ。従って、太陽電池を V_{PG} に接続した場合、光量の増加で発振周波数が低くなる。

今回、改良した受容細胞モデルはp-channel MOSFETである M_{RC4} のチャンネル長を変更した。従って、 M_{RC4} の I_D - V_{GS} 特性が変化する。 M_{RC4} のゲート電圧には負電圧を印加した。以上の変更により、改良した受容細胞モデルは V_{PG} が大きくなるに従い、出力するパルス波形の発振周波数が高くなる特性を持つ。従って、太陽電池を V_{PG} に接続した場合、光量の増加で発振周波数が高くなる。

3. シミュレーション結果

HSPICEを用いて改良した受容細胞モデルのシミュレーションを行った。回路定数はそれぞれ、MOSFET： $M_{RC1}=W/L=3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$, $M_{RC2}=1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$, $M_{RC3}=10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$, $M_{RC4}=27\mu\text{m}/11\mu\text{m}$, キャパシタ： $C_{GR}=3.3\text{nF}$, $C_{MR}=10\text{pF}$, 電源： $V_{AR}=3.0\text{V}$ とした。Figure 2に V_{PG} 変更時の出力周波数特性を示す。シミュレーション結果より本モデルは $V_{PG}=0.21\sim 0.47\text{V}$ の範囲で発振することを確認した。発振周波数は $V_{PG}=0.21\text{V}$ の時1.85kHz, $V_{PG}=0.47\text{V}$ の時12.5kHzであり、 V_{PG} の増加で発振周波数が高くなることを確認した。

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

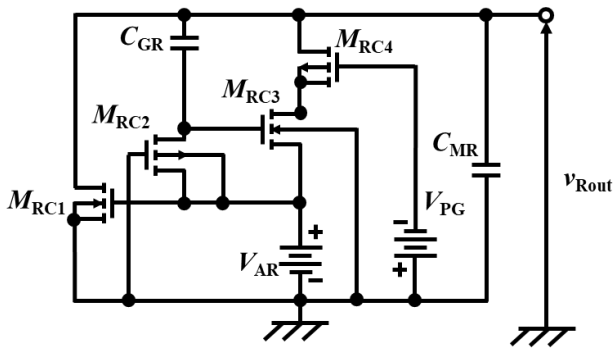


Figure 1. Schematic of improved receptor cell model

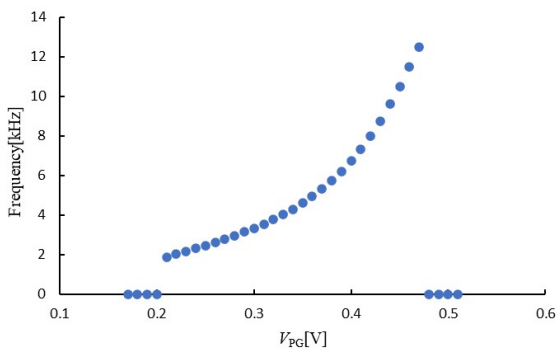


Figure 2. Characteristic of output frequency

4. まとめ

本稿では、新たな出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計し、HSPICEによるシミュレーションを行った。シミュレーション結果より、 V_{PG} が0.21~0.47Vの範囲でパルス波形を出力し、 V_{PG} の増加に従い発振周波数が1.85kHzから12.5kHzまで変化する特性を確認した。今後は、本モデルに太陽電池を接続し動作実験を行い、マイクロロボットの歩行生成回路に組み込む予定である。

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。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たものです。

6. 参考文献

- [1] 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), pp761-764, 2017.
- [2] S. Kawamura, D. Tanaka, T. Tanaka, D. Noguchi, Y. Hayakawa, M. Kaneko, K. Saito, F. Uchikoba, "Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism," Artificial Life and Robotics, vol. 23, issue 3, pp 380-386, 2018.
- [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.