

四足歩行ロボットに搭載するセンサ入力可能なニューロモルフィック回路の集積化に対する検討

A Study on Integration of Neuromorphic Circuit with Receptor Cell Model for Quadruped Robots

中山 渉[†] 関山 晃生[†] LYU SHUXIN[†] 森下 克幸[†] 齊藤 健^{††}

Wataru NAKAYAMA[†] Kosei SEKIYAMA[†] Shuxin LYU[†] Katsuyuki MORISHITA[†] Ken SAITO^{††}

[†] 日本大学大学院理工学研究科 ^{††} 日本大学理工学部

[†] Graduate School of Science and Technology, Nihon University ^{††} College of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

我々は生物の神経系をアナログ回路で模倣し、ロボットシステムへ実装する研究を行っている。先に我々は、足裏の圧力変化によりニューロモルフィック回路の出力周波数を変化させ、動物の歩容を生成する四足歩行ロボットを開発した[1]。しかし、足裏の圧力センサの測定にはマイクロコントローラが必要であった。本発表では、生物の感覚器で外部刺激を電気信号へと変換する受容細胞をモデル化し、ニューロモルフィック回路と組み合わせる。集積化に向けてHSPICEを用いて検討した結果、受容細胞モデルは圧力センサの抵抗変化に応じて出力周波数を変化し、ニューロモルフィック回路に接続可能な事を明らかにしたので報告する。

2. センサ入力可能なニューロモルフィック回路

図1に集積化したセンサ入力可能なニューロモルフィック回路を示す。本回路は、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、受容細胞モデルで構成した。本回路に搭載された受容細胞モデルは生物の感覚受容器の機能をアナログ電子回路で模倣したモデルである。センサ入力によって決まる電圧 v_{PG} の変化によって受容細胞モデルの発振周波数が定まり、 v_{ROUT} として出力される。出力された v_{ROUT} は RC 積分回路に入力され、発振を積分電圧として出力する。出力された電圧は抑制性シナプスモデルにシナプス結合荷重 v_W として入力され、細胞体モデルの発振周波数を抑制する。

3. シミュレーション結果

HSPICE によるシミュレーション結果を図2に示す。各回路定数を $M_{R1,C1,C2} = W [\text{mm}] / L [\text{mm}] = 10/1.2$, $M_{R2} = 27/1$, $M_{R3,C3} = 1.2/10$, $M_{R4,C4} = 3/10$, $M_{S1,S2,S3,S5,S6,S7,S8} = 10/10$, $M_{S4} = 15/1.2$, $M_{S9} = 10/100$, $M_{S10} = 15/2$, $C_{MR,S1} = 10 [\text{pF}]$, $C_{GR} = 47 [\text{pF}]$, $C_{MC} = 20 [\text{pF}]$, $C_{GC} = 4.7 [\text{nF}]$, $C_{S2} = 1 [\text{mF}]$ とした。電源電圧は $V_{RA} = 3.0 [\text{V}]$, $V_{CA} = 2.55 [\text{V}]$, $V_{DS1} = 2.0 [\text{V}]$, $V_{DS2} = 3.3 [\text{V}]$, $V_{int} = 0.7 [\text{V}]$ である。 C_{RG} , C_{CG} , C_{S2} は静電容量値が大きいためチップ外に構成した。また、電圧 V_{PG} は $0.2[\text{V}]$ から $0.65[\text{V}]$ の範囲でシミュレーションを行った。結果として受容細胞モデルの発振周波数が $44.64[\text{Hz}]$ から $90.03[\text{Hz}]$ の周波数変化によって、細胞体モデルの発振周波数が $117.4[\text{Hz}]$ から $69.23[\text{Hz}]$ まで変化を確認し、細胞体モデルの周波数は 2.560 倍変化する。

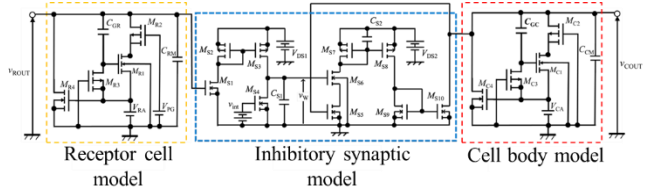


図1 センサ入力可能なニューロモルフィック回路

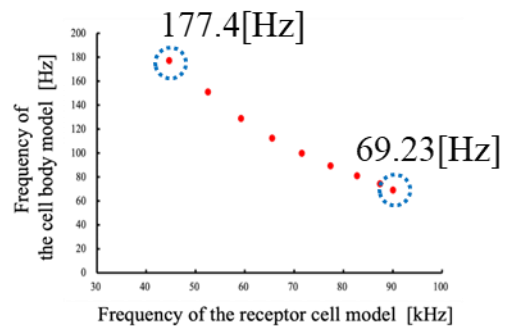


図2 センサ入力可能なニューロモルフィック回路のシミュレーション結果

4. まとめ

本稿ではセンサ入力可能なニューロモルフィック回路の集積化の検討を行った。シミュレーションの結果受容細胞モデルの発振周波数に応じた細胞体モデルの発振周波数変化を確認した。また、細胞体モデルの発振周波数は 2.56 倍変化するを得られた。今後は本稿の回路のレイアウトを作製し、集積化した回路の測定を行う予定である。

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。また、本研究は、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]Y. Takei, et al.: “Development of quadruped robot generating animal-like gaits utilizing independent neuro-circuits” Proceeding of the 32nd workshop on circuits and systems, pp.222-227(2019)