

M-20

四足歩行ロボット用の抑制性シナプスモデルで弱く結合したニューロモルフィック回路の測定
Measurement of Weakly Coupled Neuromorphic Circuits Using Inhibitory Synaptic Model for Quadruped Walking Robots

○陳普澤¹, 崔峻豪¹, 劉佳艾², 浅沼唯斗². LYUSHUXIN³, 齊藤健⁴
*Puze Chen¹, Junhao Cui¹, Jiaai Liu², Yuito Asanuma², Shuxin Lyu³, Ken Saito⁴

Abstract : We are investigating analog electronic circuit models that emulate biological functions. In our previous study, we developed a quadruped robot that autonomously generated gait patterns using neuromorphic circuits modeled after biological systems. However, the gait was difficult to sustain under external disturbances. In this study, we connect neuromorphic circuits through weak coupling to examine desynchronization phenomena. The neuromorphic circuits are implemented using discrete components. By applying weak coupling, the circuits generate frequencies corresponding to gait patterns, enabling the quadruped robot to achieve a stable locomotion that is robust against external disturbances.

1. はじめに

現在、労働力不足を解決するためにロボットの開発が進んでいる。四足歩行ロボットは複雑な地形への適応性に優れ、高い運動能力を持っている。また、四足歩行ロボットは不整地での歩行を可能とし、押されるなどの外乱が加わっても歩行を継続することが可能である。従って、ロボットは大量のセンサを搭載し、高性能なコンピュータによる複雑な制御を行って、歩行を可能にしている。しかし、大量のデータ処理に伴い、消費電力も増加する。

我々は、生物の神経細胞を模倣したアナログ電子回路を設計して四足歩行ロボットに搭載し、四足動物のような歩容を生成する研究を進めている。ロボットは、足先に取り付けた圧力センサの強度により脚の駆動速度を変換することで、生物と似たような歩容を生成した。しかし、ロボットの四脚はそれぞれ独立したニューロモルフィック回路で制御している。四足の圧力センサは歩行中に異なる荷重変化を受け、ニューロモルフィック回路の四つの周波数がそれぞれ異なる変化となり、四脚の協調性を損なう。従って、外乱によって歩容が乱れ、長時間維持することができなかった^[1]。

本論文では、四足歩行ロボットの歩容が長時間維持することを目的として検討を進める。四足に制御する四つのニューロモルフィック回路を互いに弱く結合することで、外乱の影響を受けた歩容の安定性を検討する。また、4つニューロモルフィック回路をディスクリート回路で作製し、抑制性シナプスモデルで弱く結合した結果を測定したので報告する。

2. 四足歩行ロボットの歩容生成

Figure 1 に我々が開発した四足歩行ロボットを示す。

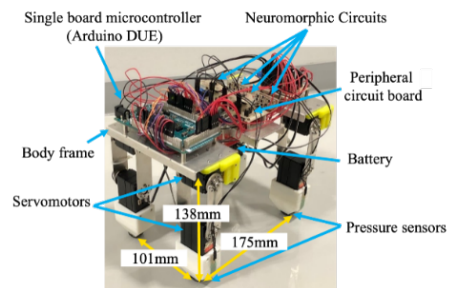


Figure 1. Gait-generating quadruped robot

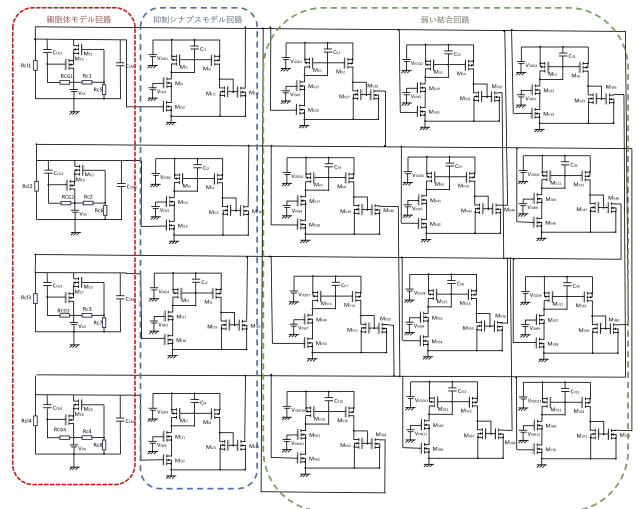


Figure 2. Circuit diagram of the neuromorphic circuit connected by weak coupling

ロボットは、ニューロモルフィック回路、圧力センサ、サーボモータ、マイクロコントローラの Arduino を搭載している^[2]。ロボットの動作原理は、足先に取り付けた圧力センサの抵抗値を変化させることで、ロボットの足を一定角度ずつ駆動させている。ロボットの足を駆動するサーボモータは、Arduino のプログラムにより、ニューロモルフィック回路が出力する発振パルスによって角度を変える。

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

3. 抑制性シナプスモデルで弱く結合したニューロモルフィック回路

Figure2 にディスクリート回路で作製した弱い結合で相互に接続したニューロモルフィック回路を示す。本回路は、4つの細胞モデルと抑制性シナプスモデルによって構成されたニューロモルフィック回路同士が、12個の抑制性シナプスモデルを通じて互いに結合し、弱い結合回路として構成した。回路定数は、細胞モデルは以下の通りである。 $R_{C1,C2,C3,C4} = 20[k\Omega]$, $R_{C5,C6,C7,C8} = 15[k\Omega]$, $R_{CG1,CG2,CG3,CG4} = 8.2[M\Omega]$, $R_{CL1,CL2,CL3,CL4} = 10[k\Omega]$, $C_{CG1,CG2,CG3,CG4} = 47[pF]$, $C_{CM1,CM2,CM3,CM4} = 10[pF]$, $MC_{1,C2,C3,C4}$ には BSH203, $MC_{5,C6,C7,C8}$ には SSM3K17FU である。抑制性シナプスモデルは以下の通りである。 $CE_{1,E2,E3,E4,I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7,I8,I9,I10,I11,I12} = 3.3[\mu F]$, $MC_{1,C2,C3,C4,I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7,I8,I9,I10,I11,I12,I13,I14,I15,I16,I17,I18,I19,I20,I21,I22,I23,I24}$ には BSH203, $MC_{5,C6,C7,C8,I9,I10,I11,I12,I13,I14,I15,I16,I17,I18,I19,I20,I21,I22,I23,I24,I25,I26,I27,I28,I29,I30,I31,I32,I33,I34,I35,I36,I37,I38,I39,I40,I41,I42,I43,I44,I45,I46,I47,I48,I49,I50,I51,I52,I53,I54,I55,I56,I57,I58,I59,I60,I61,I62,I63,I64,I65,I66,I67,I68,I69,I70,I71,I72}$ には SSM3K17FU である。

弱い結合を構成した抑制性シナプスモデルの荷重電圧 V_{IW} を増加させることで、特定のニューロモルフィック回路が生成する周波数を他の三つの周波数と差異を持たせることが可能となる。そして、四足歩行ロボットは外乱の影響を受けることなく、安定してウォーク歩容を実現できると考える。

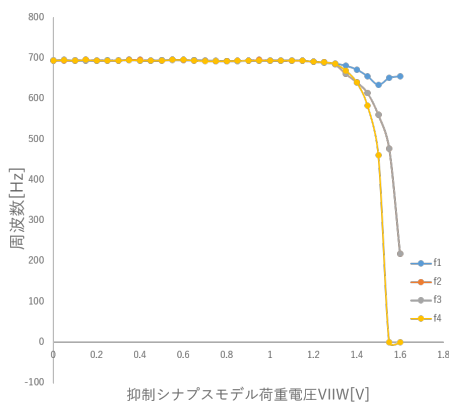


Figure 3. Separation caused by weak coupling in neuromorphic circuits

4. 実測結果

抑制性シナプスモデルで弱く結合したニューロモルフィック回路のディスクリート回路実測結果を Figure3 に示す。電源電圧は

$V_{A1}=V_{A2}=V_{A3}=V_{A4}=3.7[V]$, $V_{Idd}=V_{dd}=5[V]$, $V_{IW1}=1.41[V]$, $V_{IW2}=0.7[V]$, $V_{IW3}=0.7[V]$, $V_{IW4}=1.3[V]$. また荷重電圧 V_{IW} は $0[V]$ から $1.6[V]$ の範囲で測定を行った。 $1.6[V]$ 後周波数の発振はなくなる。結果、弱い結合を構成した抑制性シナプスモデルの荷重電圧 V_{IW} の変化における細胞モデルの発信周波数の変化を確認した。荷重電圧 V_{IW} を $1.3[V]$ に増加させると、四つの周波数は荷重電圧に応じて異なる程度で低下し、特定の荷重電圧においては、そのうちの一つの周波数が他の三つの周波数と異を示す。以上より抑制性シナプスモデルで弱く結合したニューロモルフィック回路は四足歩行ロボットの歩行パターンの維持に利用できると考えられる。従って、ニューロモルフィック回路で生成される周波数は弱い結合回路の影響を受け、弱い結合回路の荷重電圧 V_{IW} による調節により、歩容を安定する周波数を生成する。

5. まとめ

本論文では、抑制性シナプスモデルにより弱い結合したディスクリート構成のニューロモルフィック回路を接続し、荷重電圧 V_{IW} の調整による発振周波数制御を検討した。実測結果より、特定条件下で一部の周波数が他と差異を示すことを確認し、弱結合による発振特性の調整が可能であることを示した。結果として、四足歩行ロボットの歩容安定化に有効である可能性を示唆した。

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、および令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである。

6. 参考文献

- [1] 崔峻豪, 中山涉, 陳普澤, LYU SHUXIN, 齊藤 健: 「弱く結合したニューロモルフィック回路の同期現象に対する検討」, 学術講演会予稿集, 2024.
- [2] Takayanagi, H., Usami, Y., Kato, S., Sakaki, A., Morishita, K., Takei, Y., & Saito, K. (2021). A Study on Integration of Neuromorphic Circuits with Self-Feedback for Quadruped Robots. The 34th Workshop on Circuits and Systems on Online, 65th, 35–39.