

四足歩行ロボットに搭載するニューロモーフィック回路の温度特性の検討

Study on Temperature Characteristics of Neuromorphic Circuits for Quadruped Robot

○佐藤快¹, 石崎光陽¹, 田邊魁晟², 石田暁久², LYU SHUXIN³, 森下克幸³, 齊藤健⁴
Kai Sato¹, Kouyou Ishizaki¹, Kaisei Tanabe², Akihisa Ishida², Shuxin Lyu³, Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are currently researching quadrupedal robots that mimic the walking functions of animals. Each of the robot's legs is controlled using a neuromorphic circuit that mimics the nervous system of living things. However, the robot's walking was unstable. When we investigated the cause, we found that the temperatures of all four circuits were different. We also found that the output differs depending on the temperature of the circuits. In this paper, we create a circuit using simulation, change the temperature, examine the effect on the circuit, and report the results.

1. はじめに

近年、様々な分野でロボットの需要は高まっている。特に操縦を必要としない自律型、及び半自律型ロボットへ注目が集まりつつある。

我々は動物の歩容生成に着目した自律型ロボットについて研究している。先に我々はニューロモーフィック回路を用いて脚部を独立して制御する四足歩行ロボットを開発した。開発したロボットは、各脚にそれぞれ1つのニューロモーフィック回路を搭載し、足先の圧力センサから得られた圧力を各ニューロモーフィック回路へとフィードバックする。歩行実験の結果、開発した四足歩行ロボットは、各脚を独立して制御しているにも関わらず、四足歩行動物のような歩容を生成した^[1]。しかし、四足歩行ロボットは、生成した歩容を安定して維持することはできなかった。シミュレーションを用いた歩行実験では安定した歩容を維持できているため^[2]、搭載した4つのニューロモーフィック回路の特性のばらつきが原因として考えられる。

我々は回路シミュレータを用いてニューロモーフィック回路のばらつきについて解析している。解析の1つとして、温度の変化が及ぼすニューロモーフィック回路の特性への影響を調べた。

本論文では P-Spice を用いて異なる温度でのニューロモーフィック回路の発振をシミュレーションし、温度の変化が及ぼすニューロモーフィック回路の特性への影響を確認したので報告する。

2. ニューロモーフィック回路

Figure 1 にニューロモーフィック回路の回路図を示す。ニューロモーフィック回路は細胞体モデルとシナプスモデルからなる。細胞体モデルはニューロンの発

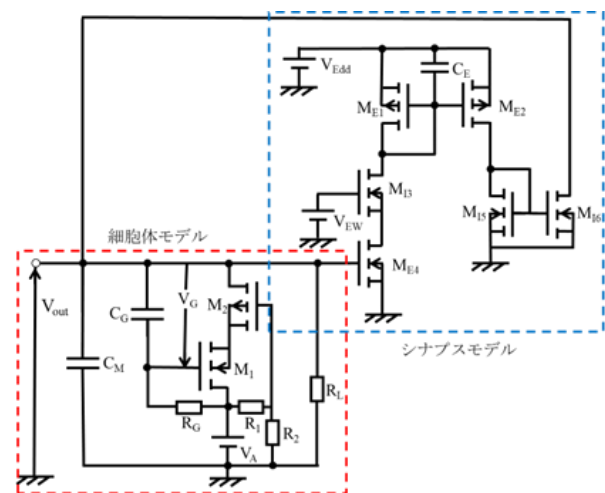


Figure 1. Neuromorphic circuit schematic

火を模した出力を行い、シナプスモデルは細胞体モデルの発振を促進または抑制する機能がある。Figure 1のシナプスモデルは抑制性シナプスモデルであり、シナプス荷重コントロール電圧 v_w に応じて細胞体モデルの発振を抑制し、細胞体モデルの発振周期を長くする。

細胞体モデルは直流電源電圧 V_A 、抵抗 R_1 , R_2 , R_L , R_G , n-channel MOSFET M_1 , p-channel MOSFET M_2 , キャパシタ C_G , C_M によって構成されており、動作原理については以下ようになる。

- ① 電圧 V_A から抵抗 R_G を介してコンデンサ C_G が充電され、電圧 V_G が上昇する。
- ② v_G の値が M_1 の閾値を超えると電流が流れる。
- ③ 流れた電流はコンデンサ C_M に充電され、電圧 V_{out} が高くなる。一方で C_G の負極側にも正電荷が流れることで v_G が低くなる。
- ④ C_M に溜まった電荷は抵抗 R_L を通して放電され、 v_{out} が低くなる。

以上の工程を繰り返すことでパルス信号の発振が行われる。

細胞体モデルは V_A の値を上昇させると C_G , C_M に電荷が溜まる時間が短くなり、発振の周期が短くなる。

3. ニューロモーフィック回路の温度特性実験

P-Spice でニューロモーフィック回路を作成しシミュレーション上で温度特性実験を行った。温度を $0[^\circ\text{C}]$ から $30[^\circ\text{C}]$ まで $5[^\circ\text{C}]$ ずつ上昇させて、ニューロモーフィック回路の電圧 V_A に対する細胞体モデルにおけるパルス電圧の発振周期を測定した。Figure 2 に測定結果を示す。同じ電圧同士で比較すると、温度が高いほどパルス信号の発信周期が短くなるのがわかる。

Figure 2 より $V_A=3.6[\text{V}]$ のとき温度 $20[^\circ\text{C}]$ では発振周期は $1.05[\text{ms}]$ であり、温度 $30[^\circ\text{C}]$ では $0.985[\text{ms}]$ である。従って、約 7% 発振周期が温度によって変化する。先に我々が開発した四足歩行はニューロモーフィック回路の発振周期によって 4 つの各脚を個別に制御している。従って、ニューロモーフィック回路の発振周期が脚部の動作に大きな影響を及ぼす。例えば、ニューロモーフィック回路の発振周期に 5% のずれが生じると脚部の動作としては 20 周期ごとに 1 周期分のずれが生じることとなる。四足歩行動物の歩容における各脚の位相のずれは $1/4$ 周期のずれや $1/2$ 周期のずれであるため、1 周期分のずれでも大きな影響となると考えられる。

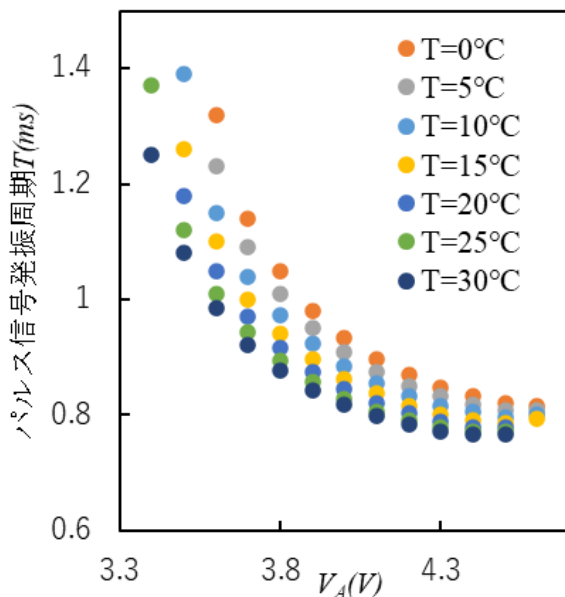


Figure 2. Relationship between voltage and pulse signal oscillation period at each circuit temperature

4. まとめ

本論文では、温度の変化が及ぼすニューロモーフィック回路の特性の変化についてシミュレーションした。シミュレーションの結果、ニューロモーフィック回路は温度が $20[^\circ\text{C}]$ から $30[^\circ\text{C}]$ まで上昇するとパルス信号の発振周期が 7% 程度短くなる特性があることが判明した。温度による特性の変化は数% でもニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットにおいては歩容の生成に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

今後としては今回のデータをもとに実際に回路を組んだ際にシミュレーションと同様の環境においてどのような特性の変化があるかを計測する予定である。

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。

6. 参考文献

- [1] Yuki Takei, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa and Ken Saito : “Active Gaits Generation of Quadruped Robot Using Pulse-Type Hardware Neuron Models”, *Biomimetics*, DOI 10.5772, intechopen.95760, 2021.
- [2] Yuki Takei, Takumi Kaimai, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa and Ken Saito : “Dynamic simulation of non-programmed gait generation of quadruped robot”, *Artificial Life and Robotics*, Vol.27, No.3, pp480-486, 2022.