

M-6

マイクロロボットを駆動する静電モータ用ニューラルネットワーク集積回路の開発

Development of Neural Networks Integrated Circuits for Electrostatic Motor Driving Microrobot

○榊亜理沙¹, 宇佐見雄¹, 加藤真也¹, 佐々木拓郎¹, 森下克幸¹, 武井裕樹², 齊藤健³*Arisa Sakaki¹, Yu Usami¹, Shinya Kato¹, Takuro Sasaki¹, Katuyuki Morishita¹, Yuki Takei², Ken Saito³

Abstract: The authors are studying a microrobot driven by electrostatic motors. In the previous research, we have designed the neural networks integrated circuit, which can generate hexapod's gait pattern. In this paper, we developed neural networks integrated circuit to drive the electrostatic motors for the microrobot. We added neural networks driving e motors to the neural networks integrated circuit for miniaturizing. Also, we verified the integrated circuit is capable of driving the electrostatic motors by simulation. As a result of the simulation, we confirmed the neural networks integrated circuit can generate driving waveforms for electrostatic motors.

1. はじめに

小型ロボットの開発は、人間や一般的なロボットが立ち入ることのできない空間での活躍が期待されている。ロボットの主流的な制御はマイクロコントローラやFPGAだが、小型かつ小規模さが求められるミリメートルサイズのマイクロロボットへの搭載は困難である。そこで我々は、小型かつ自律的な制御が可能であるニューラルネットワーク集積回路を作製した。

我々は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の研究をおこなっている。先に我々が構築したマイクロロボットシステムは、外部電源供給下による歩行に成功した^[1]。マイクロロボットの脚の駆動には、形状記憶合金アクチュエータを用いた。形状記憶合金アクチュエータはシンプルな形状で出力が大きいという利点があるが、消費電力が大きく、駆動には外部電源が必要であった。そこで、低消費電力でマイクロロボットを駆動可能なアクチュエータとして、静電モータを開発した^[2]。静電モータは形状記憶合金アクチュエータと比較して発生力は小さいが、小型かつ低消費電力である。先に報告した研究では、静電モータの駆動波形はウェーブフォームジェネレータを用いて生成した。したがって、マイクロロボットを静電モータで駆動させるためには、静電モータの駆動波形及びマイクロロボットの歩行パターンを生成可能な集積回路を作製する必要がある。

本論文では、これまでウェーブフォームジェネレータで生成していた静電モータの駆動波形を生成可能なニューラルネットワーク集積回路の開発を目的とした。今回、作製したニューラルネットワークがシミュレーションによって、マイクロロボットの歩行パターン及び静電モータの駆動波形を生成可能であることを明らかにしたため報告する。

2. 静電モータ

Figure 1 に静電モータを示す。静電モータの大きさは $2.2 \times 2.5 \text{ mm}$ である。静電モータは2組2対の静電アクチュエータ、中央シャトル、静電アクチュエータの出力をシャトルに伝えるアーム、サブスプリング、メインスプリング、電極 V_{D1} , V_{D2} , GND で構成した。Figure 2 に静電モータの駆動方法を示す。Figure 2 (a) は静電モータの駆動回路である。回路定数は $R_1=R_2=2.2 \text{ M}\Omega$, $V_{pv}=60 \text{ V}$ とした。静電モータの駆動回路は、ウェーブフォームジェネレータによってトランジスタをスイッチングすることで、Figure 2 (b) の方形波を生成する。生成された駆動波形はパルス幅 7.5 ms , パルス周期 10 ms , 振幅 60 V であり、周波数は $50 \sim 100 \text{ Hz}$ である。

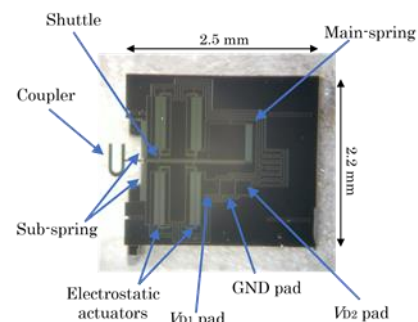
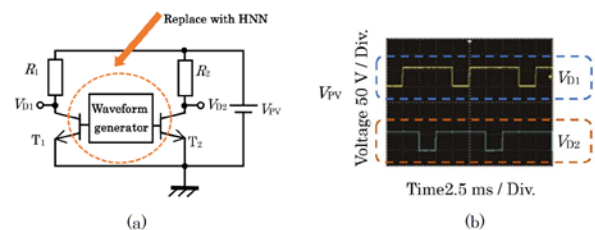


Figure 1. Electrostatic motor

Figure 2. Driving method of electrostatic motor^[2]

(a) Driving circuit (b) Driving waveform

3. ニューラルネットワーク

Figure 3 にニューラルネットワークの構成要素を示す^[3]. Figure 4 に作製したニューラルネットワークの概略図を示す. Figure 4 において, 赤点線枠内はマイクロロボットの歩行パターンを出力するネットワークを示す. また, 青点線枠内は静電モータの駆動波形を出力するネットワークを示す. 出力 V_{D1} と V_{D2} および V_{D3} と V_{D4} はそれぞれ静電モータを1つずつ, 計2つ駆動するための出力である. この4つの出力をそれぞれ3つずつ駆動回路に並列接続し, 合計12個の出力をおこなうことで, マイクロロボットの6脚及び静電モータ6つを駆動する出力を得ることができる.

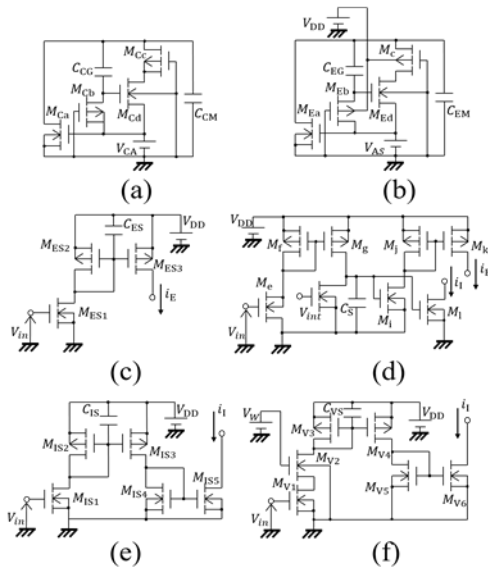


Figure 3. Circuit diagram of neuron models (a)Self-excited oscillation cell body model (b)Separately-excited oscillation cell body model (c)Excitatory-synaptic model (d)Synaptic model with pulse delay function (e)Inhibitory-synaptic model (f)Variable Inhibitory-synaptic model

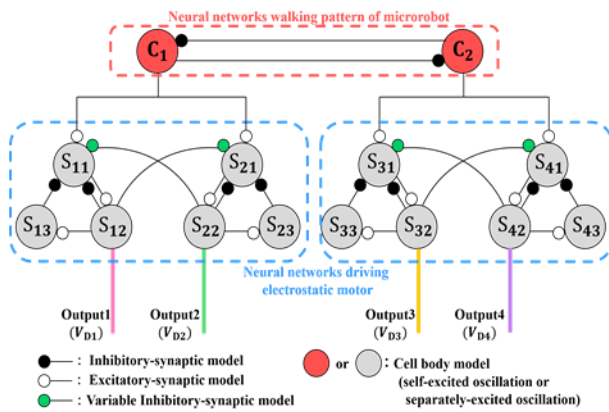


Figure 4. Schematic diagram of the neural networks integrated circuit for driving the electrostatic motor

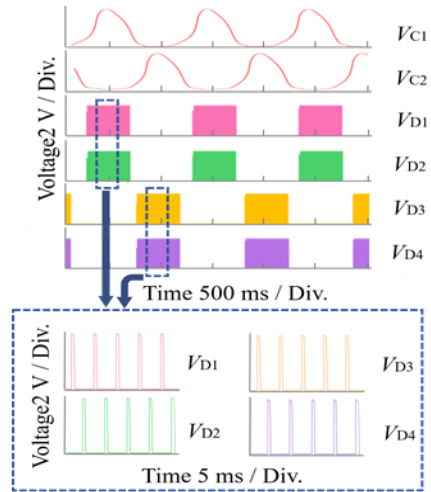


Figure 5. Example of the generated driving waveform from neural networks

4. 測定結果

Figure 5 に作製したニューラルネットワークのシミュレーション結果を示す. Figure 5 より, 1秒周期に発振する細胞体モデル C_1 , C_2 の出力に応じて, 出力 V_{D1} ~ V_{D4} が静電モータの駆動波形を生成していることが確認できる.

5. まとめ

本論文では, マイクロロボットを駆動する静電モータ用のニューラルネットワークを作製し, シミュレーションをおこなった. シミュレーションの結果, 作製したニューラルネットワークが, マイクロロボットの歩行パターン及び静電モータの駆動波形を生成可能であることを明らかにした. 今後は, 集積回路へのレイアウト及びマイクロロボットの駆動実験をおこなう予定である.

6. 参考文献

[1] Satoshi Kawamura, Daisuke Tanaka, et al, : “Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism”, *Artificial Life and Robotics*, Volume 23, Issue 3, pp 380-386, 2018.
 [2] Ken Saito, Daniel S. Contreras, Yudai Takeshiro, et al, : “Study on Silicon Device of Microrobot System for Heterogeneous Integration”, *International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference*, Mie, Japan, 2018.
 [3] Takuro Sasaki, Mika Kurosawa, et al, : “Development of neural networks chip generating driving waveform for electrostatic motor”, *Artificial Life and Robotics* 2020, Beppu, Japan, pp.866-870, 2020.