

M-30

MEMS マイクロロボット用の静電アクチュエータを駆動する
ハードウェアニューラルネットワークの開発

Development of Hardware Neural Networks for Driving Electrostatic Actuator of MEMS Microrobot

○佐々木拓郎¹, 黒澤実花¹, 小原正也², 齊藤健³
Takuro Sasaki¹, Mika Kurosawa¹, Masaya Ohara², Ken Saito³

Abstract: The authors are studying a hardware neural networks (HNN) which drives electrostatic actuator for microrobot. In the previous research, artificial muscle wire was used to drive microrobots. However, artificial muscle wire consumed large power, an external power supply was necessary. Therefore, the authors developed an electrostatic actuator which can drive with lower power consumption. In this paper, the authors developed the HNN to drive the electrostatic actuator and obtained a driving waveform obtained by simulation. The HNN outputs a pulse waveform at a frequency of 73.2 Hz.

1. はじめに

マイクロロボットは人が入ることができない狭い空間で活動することができる。例えば、災害現場における捜索、配管のメンテナンス、そして将来的には人の体内での作業が期待される。

マイクロロボットを制御するにあたり、従来のマイクロコントローラなどを使用した制御では、ミリメートルサイズのロボットへの搭載は困難である。そこでハードウェアニューラルネットワークを用いることで、小型化かつ自律的な制御を可能としている。

我々はハードウェアニューラルネットワークを搭載したマイクロロボットの研究をしている。これまでに 6 足歩行のミリメートルサイズのロボットの歩行に成功している^[1]。マイクロロボットのアクチュエータは人工筋肉ワイヤを使用していた。しかし人工筋肉ワイヤは高出力を出せるが消費電力が高く、駆動には外部電力が必要であった。そこでより低消費電力で駆動が可能な静電アクチュエータを開発した。静電アクチュエータは 60 V, 1.0 mN 出力が可能で、ウェーブフォームジェネレータによる足の駆動に成功している^[2]。

本論文はウェーブフォームジェネレータをハードウェアニューラルネットワークに置き換え、小規模で自律した回路を用いて同様の駆動波形を得ることを目的とした。駆動波形の生成に低容量 CPG モデルを使用し、静電アクチュエータ駆動用ハードウェアニューラルネットワークの検討を行ったため報告する。

2. 静電アクチュエータ

Figure 1 に本論文の制御対象である静電アクチュエータとその出力-電圧の関係を示す。寸法は 2.2×2.5 mm である。構成は 2 対の静電アクチュエータが 2 セットと中央のシャトル、アクチュエータの力を伝える脚、

シャトルの戻りをするためのメインスプリングそして電極 V_{D1} , V_{D2} , GND である。

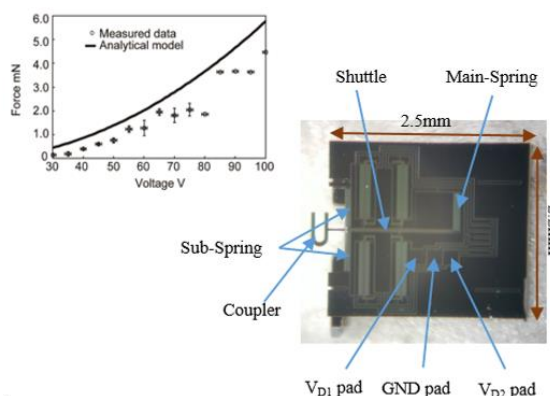


Figure 1. Electrostatic Inch worm motor

Figure 1 のグラフにおける実線は理論計算の電圧と出力の関係である。60 V において 1 mN 以上の出力が得られることを示している。1 mN は 95.8 mg のマイクロロボットの脚部の動作には十分な出力である

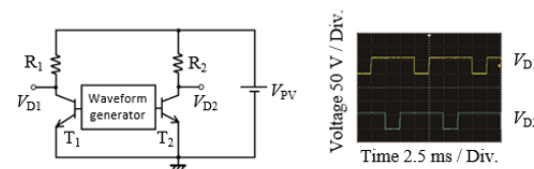


Figure 2. Driving circuit and waveform

Figure 2 に静電型インチワームモータの駆動回路と駆動波形を示す。回路定数 $R_1=R_2=2.2 \text{ M}\Omega$, V_{PV} は 60 V の電圧源である。駆動回路は静電型インチワームモータを用いて、マイクロロボットの脚部を駆動した。駆

動波形はウェーブフォームジェネレータによるもので、パルス幅 7.5 ms, パルス周期 10 ms, パルス振幅 60 V の方形波である。

3. 静電アクチュエータ駆動用ハードウェアニューラルネットワーク

Figure 3 に静電アクチュエータ制御用の回路図の一部とハードウェアニューラルネットワークを示す。Figure 3 中の C 部は細胞体モデル, I 部は積分部, E 部は興奮性シナプスモデル, S 部は抑制性シナプスモデルを示している。細胞体モデルは周期的にパルスを生じる発振回路である。積分部はパルスの時定数を増幅する。興奮性シナプスモデルは出力先の細胞体モデルの発振を促進し、抑制性シナプスモデルは細胞体モデルのパルスの発生を抑制する。

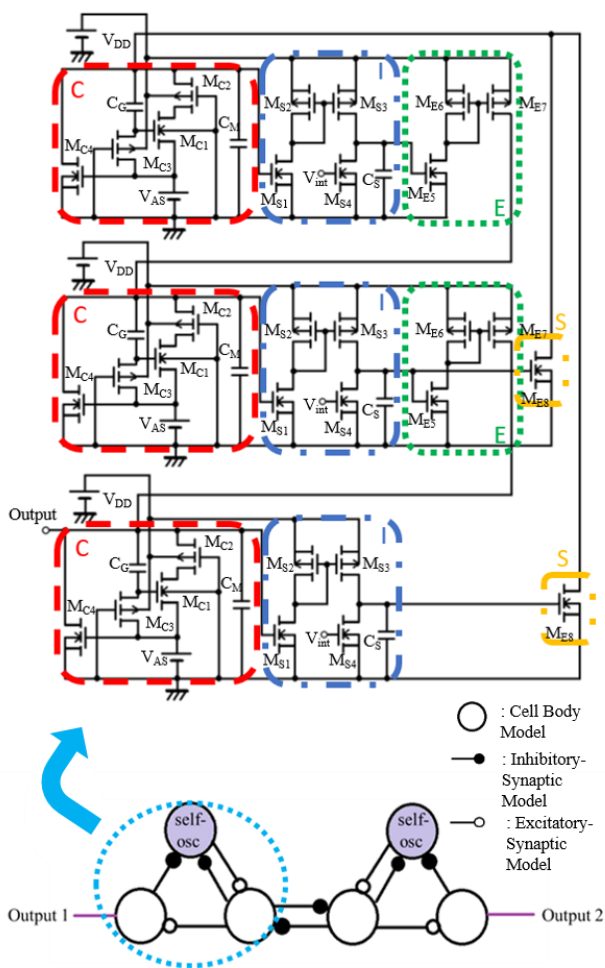


Figure 3. Circuit diagram of the hardware neural networks driving electrostatic actuator

各回路定数は MOSFET: $M_{C1}, M_{C2}=10/1.2, M_{C3}=1.2/10, M_{C4}=1.2/8.5, M_{S1}, M_{S2}, M_{S3}, M_{S4}, M_{E5}, M_{E6}, M_{E8}=10/10,$

$M_{E7}=2/10,$ コンデンサ: $C_G=1 \text{ pF}, C_M=0.1 \text{ pF}, C_S=8 \text{ pF}$ とした。各電源電圧は $V_A=2.6 \text{ V}, V_{DD}=2.0 \text{ V}, V_{AS}=500 \text{ mV}, V_{int}=525 \text{ mV}$ とした。この回路は佐伯らによるリングニューラルネットワークを参考に作成した^[3]。

Figure 4 に 3 つ目の細胞体モデルの出力波形を示す。本論文では Figure 3 の出力をカレントミラー回路を通して昇圧している。周波数は 73.2 Hz, デューティ比は 69% である。静電アクチュエータの駆動に必要な周波数は 50~100 Hz であり、中間程度の周波数が得られた。

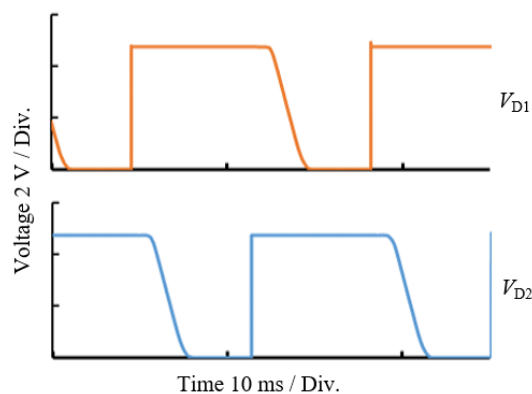


Figure 4. The waveform obtained from the created circuit

4. まとめ

静電アクチュエータ制御用ハードウェアニューラルネットワークの開発を行った。今後は IC チップへのレイアウト及び足の駆動実験。そして 6 足制御用のハードウェアニューラルネットワークの開発を行っていく予定である。

5. 参考文献

[1] Satoshi Kawamura, Daisuke Tanaka, Taisuke Tanaka, Daisuke Noguchi, Yuichiro Hayakawa, Minami, Kaneko Ken Saito, Fumio Uchikoba : 「Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism」 Artificial Life and Robotics, September 2018, Volume 23, Issue 3, pp 380–386
 [2] Satoshi Hirao, Yuya Nakata, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, Ken Saito : 「Development of Electrostatic Actuator for MEMS Microrobot」
 [3] Katsutoshi Saeki , Daisuke Nihei , Tatsuya Tatebe , Yoshifumi Sekine 「IC implementation of an interstitial cell-based CPG model」