

マイクロロボットに用いる静電モータを駆動するマイクロブレインチップの開発

Development of Micro Brain Chip Driving Electrostatic Motors for Microrobot

○佐々木拓郎¹, 黒澤実花¹, 小原正也¹, 武井裕樹², 金子美泉³, 内木場文男³, 齊藤健³*Takuro Sasaki¹, Mika Kurosawa¹, Masaya Ohara¹, Yuki Takei², Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³, Ken Saito³

Abstract: The authors are studying micro brain chip which control the locomotion of the microrobot system. The micro brain chip has configured by hardware neural networks (HNN). In previous research, a waveform generator was used to drive the electrostatic motors of the microrobot. Therefore, replace the waveform generator with the HNN and drive the electrostatic motors. The HNN succeeded in generating a pulse of 50 to 100 Hz, which is the driving waveform of the electrostatic motors. But, conventional micro brain chip couldn't generate anti-phase synchronization. In this paper, the authors will propose the Improved driving circuit using HNN. A mechanism to adjust the synaptic weight was added to the HNN synaptic model. As a result, an improved micro brain chip output a waveform with an anti-phase synchronization of 50 to 100 Hz.

1. はじめに

マイクロロボットは災害現場や配管のような人が入ることができない狭い空間での活躍が期待される。ロボットの制御は、マイクロコントローラや FPGA による制御が主流である。しかし、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。そこで我々はマイクロブレインチップを作製した。マイクロブレインチップは小型かつ自律的な制御を可能にしている。

我々はマイクロブレインチップを搭載したマイクロロボットの研究をしている。これまでの研究で、マイクロロボットはマイクロブレインチップによる制御での歩行に成功している^[1]。マイクロロボットは形状記憶合金アクチュエータによって駆動した。形状記憶合金アクチュエータは大きな出力を得られる反面、消費電力が大きく駆動するために外部電源が必要であった。そこで、我々はインチワーム機構を用いた静電モータを開発した^[2]。静電モータはマイクロロボットの脚を駆動可能な 1.0 mN 以上を出力する。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、そして即応性の面で優れている。

静電モータの駆動には 50~100 Hz の方形波が必要である。先に報告した研究では、ウェーブフォームジェネレータを用いて静電モータを駆動していた。駆動回路をマイクロロボットに搭載するためには駆動波形を生成可能な IC チップが必要である。これまでの研究で 50~100 Hz の方形波の生成に成功している^[3]。しかし、逆位相同期の 2 相波形の生成には至っていない。本論文では、静電モータの駆動波形を出力するマイクロブレインチップを作製したため報告する。

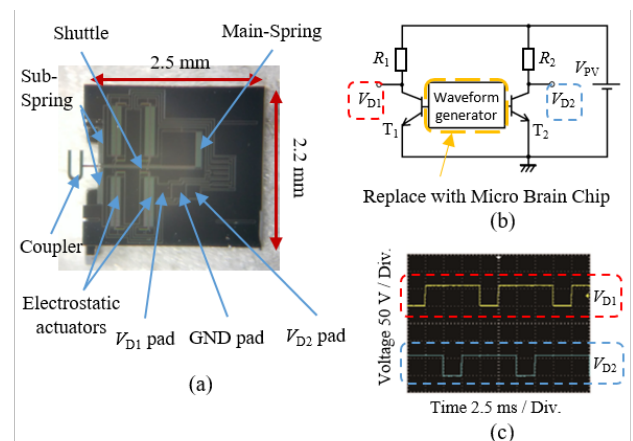


Figure 1. Electrostatic Motor ^[2] (a) Image of electrostatic motor (b) Driving circuit (c) Driving waveform

2. 静電モータ

Figure 1 に制御対象である静電モータとその駆動回路、駆動波形を示す。Figure 1(a)は 2.5×2.2 mm の大きさの静電モータの実物画像である。Figure 1(b)は静電モータの駆動回路である。これまでウェーブフォームジェネレータによりトランジスタをスイッチングすることで Figure 1(c)に示す駆動波形を生成していた。駆動波形の周波数は 50~100 Hz である。

3. マイクロブレインチップ

マイクロブレインチップは生物における情報の伝達、処理を担うニューロンの特性を CMOS 回路で模倣したニューロンモデルによって構成した。本章では、各構成要素およびネットワークを示す。

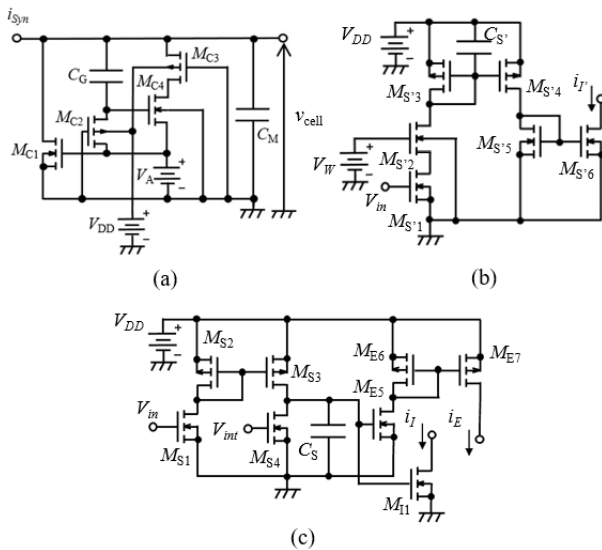


Figure 2. Circuit diagram of neuron model
 (a) Cell body model (b) Variable inhibitory synaptic model
 (c) Synaptic model with pulse delay function

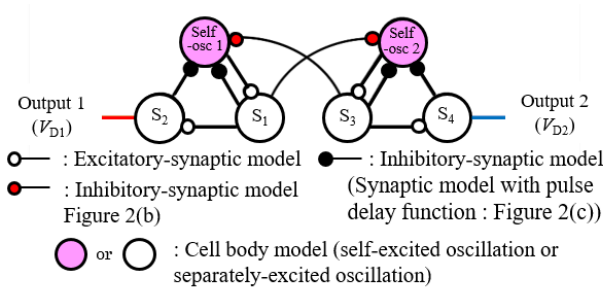


Figure 3. Networks driving electrostatic motor

3. 1 構成要素

Figure 2 にニューロンモデルの構成要素を示す。Figure 2(a), (c)の細胞体モデルとパルス遅延機能を有するシナプスモデルの回路定数は先の研究と同様である^[3]。Figure 2(b)に今回新たに導入した可変抑制性シナプスモデルの回路図を示す。回路定数を以下に示す。 $C_{S'} = 1 \text{ pF}$, $M_{S1}, M_{S2}, M_{S3}, M_{S4}, M_{S5} = W/L = 10 \mu\text{m} / 10 \mu\text{m}$, $M_{S6} = 10 \mu\text{m} / 20 \mu\text{m}$ 。

3. 2 ネットワーク構成

Figure 3 に静電モータを駆動するニューラルネットワークの概要図を示す。出力は他励振動細胞体モデル S_2, S_4 から得る。自励振動細胞体モデル Self-osc1, 2 は単体では 3 MHz で発振する。他励振動細胞体モデル S_1, S_2 と S_3, S_4 によってそれぞれ発振を抑制し、100 Hz に周波数を遅延する。そして、可変シナプスモデルによって 2 出力を逆位同期させる。

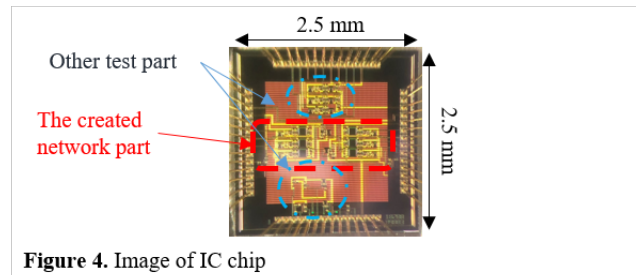


Figure 4. Image of IC chip

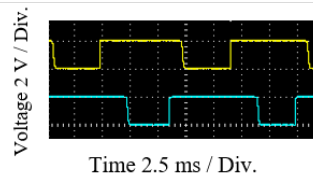


Figure 5. Example of generated waveform of IC chip

4. 測定結果

Figure 4 に製作したマイクロブレインチップを示す。そして、Figure 5 にマイクロブレインチップの測定結果を示す。各電源は $V_A 3.6 \text{ V}$, $V_{AS} 0.75 \text{ V}$ (他励振動細胞体モデルの電源電圧), $V_{DD} 2.0 \text{ V}$, $V_{int} 0.59 \text{ V}$, $V_w 3.4 \text{ V}$ とした。出力電圧 v_{cell} はカレントミラー回路によって電流出力し、外部の抵抗によって 2 V の出力となるよう調整した。周波数は 85.5 Hz であり、静電モータの駆動波形の周波数である 50~100 Hz を達成した。

5. 結論

本論文では静電モータを駆動するマイクロブレインチップを製作し、測定を行った。結果として、静電モータの駆動波形を生成することができた。今後は作製したマイクロブレインチップによって静電モータの駆動実験を行う。

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, September 2018, Volume 23, Issue 3, pp 380–386
 [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(ICEP-IAAC), 17-21 April 2018, Mie, Japan
 [3] Takuro Sasaki, Mika Kurosawa, et al, Development of Micro Brain Chip for Driving Electrostatic Motor, 2019 Annual Conference of Electronics and System Society, IEE of Japan, pp.959-963, September 4-7, 2019, Okinawa, Japan