

人工筋肉ワイヤ型 MEMS マイクロロボット用ニューラルネットワークの IC 設計

IC Design of Neural Networks for Artificial Muscle Wire Type MEMS Microrobot

○日高智浩¹ 内藤友香¹ 岡根佑樹¹ 高藤美泉² 内木場文男³ 齊藤健³*Tomohiro Hidaka¹, Yuka Naito¹, Yuki Okane¹, Minami Takato², Fumio Uchikoba³, Ken Saito³

Abstract: This paper presents the CMOSIC design of neural networks which is the driving waveform generator of 2.3 mm depth, 4 mm width and 2.5 mm height size MEMS microrobot. The rotary type actuator drove by 4 pieces of artificial muscle wires. The neural networks consisted by cell body models and inhibitory synaptic models to generate the driving waveform to actuate the MEMS microrobot. We constructed the neural networks by CMOSIC for the purpose of downsizing. Therefore, we construct the current mirror circuit inside the bare chip to drive the MEMS microrobot. As a result, designed CMOS IC neural networks could generate the driving waveform of the MEMS microrobot.

1. はじめに

現在、ミリメートルサイズのマイクロロボットの開発が盛んに進められており、将来的には医療分野や精密加工分野での活躍が期待されている^{[1][2]}。特に医療分野においては、血管内における医療補助を行うことが望まれている。人体の血管は心臓に近い場所では 8 [mm]、一般的には 3 [mm]以下、毛細血管では 7 [μm]と報告されている。従って、現在開発されているマイクロロボットの大きさでは体内や脳内において検診や治療補助を行うことが難しい。今後医療分野においてマイクロロボットが活躍するためには、さらなる小型な筐体、移動機構、センサ、エネルギー源、制御回路等の開発が必要である。

そこで我々は小型な制御回路の開発をおこなっている。従来のマイクロロボットの制御方法はマイクロコントローラ等を用いたプログラミング制御である。しかし、小型のマイクロコントローラでは、複雑なプログラムを書き込むことが困難であり、不慮の事態に対応することが難しい。そこで、昆虫のような小型生物の優れたニューラルネットワークを電子回路で模倣した、人工ニューラルネットワークによる研究開発が進められている^[3]。

我々は Micro Electro Mechanical System (MEMS)技術を用いて MEMS マイクロロボットを作製し、その動作制御に必要な駆動波形をパルス型のハードウェアニューラルネットワークを用いて出力する駆動回路の開発を行っている。今回、歩行動作の駆動波形を生成可能なニューラルネットワークを CMOSIC 化したので報告する。

2. MEMS マイクロロボット

我々が作製した MEMS マイクロロボットを Figure 1 に示す。大きさは 4.0×2.7×2.5 [mm]である。アクチュエータに使用した人工筋肉ワイヤは形状記憶合金の一種であり、電流入力によりジュール熱を発生した場合に収縮し、放熱した場合に弛緩する。人工筋肉ワイヤをロータに 4 本接続し、ロータを回転させ脚部が動作する。

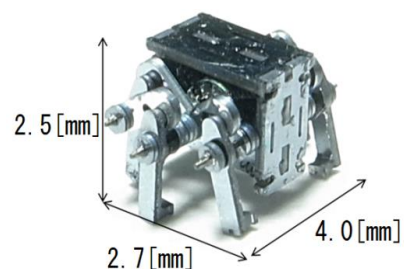


Figure 1. Developed MEMS Microrobot

3. ハードウェアニューラルネットワーク

(3-1) 細胞体モデル

細胞体モデルの基本回路を Figure 2(a)に示す。各回路定数は、 $C_G = 10$ [μF]、 $C_M = 2.2$ [μF]とし、 M_{C1} 、 $M_{C2} : W/L = 10$ 、 $M_{C3} : W/L = 0.1$ 、 $M_{C4} : W/L = 0.3$ とした。細胞体モデルは、時間的に変化する負性抵抗回路および等価インダクタ回路で構成した発振器である。以後、パルス波形を出力する発振現象を、生体の細胞体に合わせ発火と記載する。

(3-2) シナプスモデル

Figure 2(b)にシナプスモデルの回路図を示す。シナプスモデルは細胞体モデルからの電圧出力により動作し、後段に接続した細胞体モデルへ電流を出力する。シナプスモデルは MOSFET 及びコンデンサ、電源により構成した。

〈3・3〉 MEMS マイクロロボット用駆動回路

MEMS マイクロロボットの駆動用波形を出力する回路は細胞体モデルと抑制性シナプスモデルで構築した。このニューラルネットワークは各細胞体が順番に発火し、4 相の逆相同期するパルス波形を出力する。この構築したハードウェアニューラルネットワークを MEMS マイクロロボットの駆動回路とした。

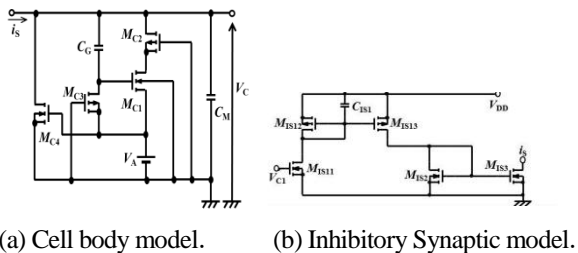
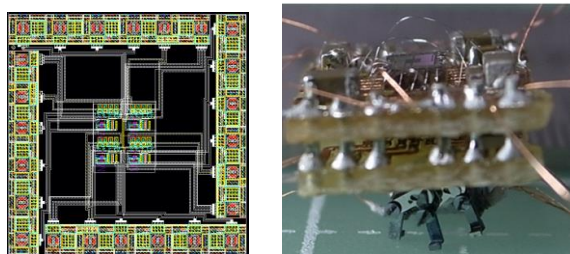


Figure 2. The circuit diagrams of Neural Networks

4. ニューラルネットワークの CMOSIC 設計

〈4・1〉 CMOSIC の実装

Figure 3(a)に構築した CMOSIC ニューラルネットワークのレイアウトを示す。細胞体モデルのコンデンサは容量が大きいため IC に搭載せず外部接続とした。設計した CMOSIC は電圧出力型のため、CMOSIC 単体の出力では人工筋肉ワイヤの駆動に必要な電流が流れなかった。そこで、付帯回路を設計した。付帯回路の構成は、外部接続のコンデンサおよびインピーダンス調整用のバッファ回路、増幅用トランジスタで構成した。図 3(b)に CMOSIC ニューラルネットワークおよび付帯回路を実装した MEMS マイクロロボットを示す。MEMS マイクロロボットの重量 0.02[g] に対し、実装した回路は 0.31[g] であり、その重さによって実装した MEMS マイクロロボットの歩行動作が確認できなかった。



(a) Layout Pattern (b) Implemented MEMS Microrobot

Figure 3. Neural Networks CMOSIC

〈4・2〉 付帯回路を含めた CMOSIC 設計

付帯回路の軽量化のために、新たに CMOSIC 設計をおこなった。オペアンプ及び、トランジスタの代わりにカレントミラーを実装した。

Figure 4 にカレントミラーを出力部に付加した CMOSIC ニューラルネットワークのレイアウト設計を示す。中央部が構築したニューラルネットワーク、上下にカレントミラーを構築した。設計した CMOSIC を測定した結果、4 相の逆相同期現象を得られた。

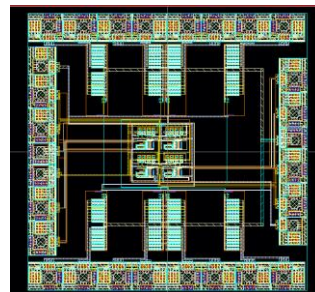


Figure 4. Layout pattern with output part

5. まとめ

本論文では、4.0×2.7×2.5 [mm]の MEMS マイクロロボットの歩行動作の駆動波形を生成可能なニューラルネットワークを CMOSIC 化した。MEMS マイクロロボットを駆動するために、付帯回路を作製したが、マイクロロボットの歩行を確認できなかった。そこで、出力部にカレントミラーを付加した CMOSIC 設計をおこない、出力を確認した。

今後、新たに設計した CMOSIC ニューラルネットワークを MEMS マイクロロボットに実装し、歩行動作の確認をおこなう予定である。

謝辞

本研究は日本大学理工学部プロジェクト研究、日本大学学術研究助成金(総 14-002), 科研費(25420226)の助成を受けたものである。また、日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けた。本研究のチップ試作は株式会社デジアンテクノロジーにより作製した。

参考文献

[1] 内木場文男：「自立型マイクロロボットの開発」, 機械の研究, No61, Vol9, pp. 871-877, 2009
 [2] Andrew T. Baisch, Student Member, IEEE, Christian Heimlich, Michael Karpelson, Student Member, IEEE, and Robert J. Wood, Member, IEEE : “HAMR3: An Autonomous 1.7g Ambulatory Robot”, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems pp. 5073-5079, 2011.
 [3] 齊藤健： “パルス形ハードウェアニューラルネットワークによる MEMS マイクロロボットの歩行動作制御,” 電気学会論文誌 C, pp. 1094-1100, 2012