K6-19

パルス形ハードウェアニューラルネットワークベアチップ IC を搭載した MEMS マイクロロボット MEMS Microrobot with Bare Chip IC of Pulse-Type Hardware Neural Networks

○岩田蛍¹, 岡根佑樹¹, 石原優毅¹, 杉田和貴¹, 阿部水樹², 小野聡子², 千葉哲玄², 高藤美泉³, 齊藤健³, 内木場文男³ *Kei Iwata¹, Yuki Okane¹, Yuki Ishihara¹, Kazuki Sugita¹, Mizuki Abe², Satoko Ono², Satohiro Chiba², Minami Takato³, Ken Saito³, Fumio Uchikoba³

Abstract: In this paper, we report the hexapod-type microrobot controlled by the bare chip IC of pulse-type hardware neural networks(P-HNNs). MEMS (Micro Electro Mechanical System) technology was used for fabrication of the microrobot. The rotational actuator was composed of four artificial muscle wires that is family of SMA (shape memory alloy). The control circuit could output the reverse phase synchronization waveform required for walking of the microrobot. As the result, the walking locomotion of the microrobot was succeeded by the mounted IC system. The sideways, endways, and height dimensions of the microrobot were 4.0mm, 2.7mm, and 2.5mm, respectively. The walking speed was 2.4mm / min and the step width was 0.083mm.

1. 緒言

昆虫は自然淘汰の中で,洗練された移動機構と柔軟 な思考回路を兼ね備えるようになった.優れた機能を もつ昆虫を模倣したマイクロロボットの実現は,マイ クロロボットの活躍領域をさらに広げるといえる.し かしながら,従来のマイクロロボットは昆虫のような 脚部を使用した歩行ではなく,振動での泳動^[1]や磁力や 電気力などの外部からの力を利用した移動のものが多 い.これらの移動方法は,昆虫と異なり移動環境が限定 されてしまう.また,ロボットの制御システムにおいて はマイコンによるプログラム制御が一般的であり,予 期せぬ状況への柔軟な対応は困難である.

我々は昆虫のような移動機構や制御システムを実現 するために,ニューラルネットワークで制御される6足 歩行型マイクロロボットの実現を目指して研究を行っ ている.昆虫と同程度のマイクロロボットは半導体作 製技術を応用した Micro Electro Mechanical System

(MEMS) 技術を用いることで実現できる.また,制御シ ステムを搭載した自律型マイクロロボットに近づける ためにマイクロロボットを直接駆動できるパルス形ハ ードウェアニューラルネットワーク (P-HNNs) のベア チップ IC が開発された^[2].

本研究は, P-HNNs のベアチップ IC を搭載してマイ クロロボットの歩行を目的とする.

2. マイクロロボット

Figure 1 に 6 足歩行型マイクロロボットの構造を示 す.



Figure 1. Structure of the microrobot.

マイクロロボットは回転アクチュエータ,フレーム, 脚部の3つで構成されている.各々のパーツはシリコン ウェハを MEMS 技術で加工して作製される.MEMS 技 術を用いることで小型で高精度なパーツが作製可能に なる.また,回転アクチュエータには形状記憶合金(SMA) の人工筋肉ワイヤが4本接続されており,順番に電流を 加えることで回転動作が生成される.脚部は4節リンク 機構で形成されており,アクチュエータにより動く中 脚の動作に追従して前後の脚が動く.左右のアクチュ エータの動作を半位相ずらすことで常に3本の脚が接 地した昆虫のような安定した歩行が実現できる.

3. ニューラルネットワーク

マイクロロボットの制御には生物の脳が出力するパ ルス波形をアナログ電子回路でモデル化した P-HNNs を用いる.P-HNNs を形成するシナプスモデルは生物と 同様な時空間的加算特性を持ち,細胞体モデルは相対 不応性,出力パルスのアナログ性及び時間的に変化す る負性抵抗特性を持つ.本研究で用いる P-HNNs は Figure 2に示した 12 個のシナプスモデルと4 個の細胞 体モデルが相互に結合して形成されており,マイクロ

1:日大理工・院(前)・精機 2:日大理工・学部・精機 3:日大理工・教員・精機

ロボットの歩行に必要な逆相同期の波形を出力するこ とが可能である.



Cell body model Inh

Inhibitory synaptic model

Figure 2. Circuit diagram of the cell body model and the inhibitory synaptic model.

4. 結果

Figure 3 に制御回路を搭載したマイクロロボットを 示す.マイクロロボットの大きさは4.0×2.7×2.5mm であ り,パーツは MEMS 技術を使用することで設計寸法と の誤差を±5µm 以内におさめることが出来た.また,制御 回路は4×4mm の FR4 基板の裏面にコンデンサ,表面に P-HNN のベアチップ IC をそれぞれ配置した.FR4 基板 とベアチップ IC はワイヤーボンディング技術を用い て接続した.制御回路全体の重さは 0.059g でマイクロ ロボットに搭載することが可能であった.



Figure 3. Fabricated microrobot mounted the control circuit of P-HNN.

Figure 4に P-HNNの出力波形を示す.マイクロロボットの歩行に必要な逆相同期の出力波形が得られた.



Figure 4. Output waveform of the control circuit of the bare chip IC.

Figure 5にP-HNNを搭載したマイクロロボットの歩 行動作を示す. 歩幅が0.083mmで歩行速度は2.4mm/min であった.



Figure 5. Walking motion of the microrobot controlled by P-HNNs.

5. 結論

本研究ではMEMS技術を用いて6足歩行型マイクロ ロボットを作製し,P-HNNの制御回路を搭載しての歩 行に成功した.マイクロロボットはMEMS技術を用い ることで4.0×2.7×2.5mmで作製できた.P-HNNの制御 回路を搭載した時の歩幅は歩幅が0.083mmで歩行速度 は2.4mm/minであった.

謝辞

本研究において日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの技術支援を受けサンプルを製作した.また, 日本学術振興会科研費補助金 25420226 と CST 研究プロジェクトの支援を受けたものである.

6. 参考文献

[1] Takuya Okada, Shuxiang Guo, Yasuhiro Yamauchi : "A Wireless Microrobot with 3 DOFs in Pipe for Medical Applications", IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME), pp79-84, 2011

[2] Ken Saito, Yuki Ishihara, Kazuki Sugita, Yuki Okane, Hirozumi Oku, Yohei Asano, Kei Iwata, Masaki Tatani, Minami Takato, Yoshifumi Sekine, Fumio Uchikoba : "Artificial Neural Circuit Integration for MEMS Microrobot System", IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), pp1055-1060, 2015