

L-8

## ハードウェアニューロンモデルを用いたパルス周期を変化可能な自己回帰回路の開発 Development of Self Recurrent Circuit with Pulse Period Varying Function Using Hardware Neuron Model

○武井裕樹<sup>1</sup>, 森下克幸<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>\*Yuki Takei<sup>1</sup>, Katsuyuki Morishita<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: Reducing the energy required for movement is effective in expanding the range and time of activities of robots. Many quadrupedal animals are known to spontaneously switch the gait according to the moving speed and perform energy-efficient movement. Therefore we tried to make the quadrupedal robot change the gait spontaneously by using the hardware neuron model which imitated the function of the neuron the animal is using for motion control. In this paper, we developed a self recurrent circuit in which the pulse period varies by applying a control voltage assuming a load on the leg of a quadrupedal robot.

### 1. はじめに

労働者不足やコストの削減などの問題を解決するためロボットが広く利用されるようになっており、現在は特に商業施設や空港などの広い場所への移動ロボットの導入が盛んである。既に活躍している移動ロボットのほとんどは移動に掛かるエネルギーの効率に優れた車輪での移動を採用しているが、段差に弱く階段などが存在する場所での活動が制限されてしまうといった問題点がある。とはいえ従来の歩行型ロボットでは、段差に強いという利点があるがエネルギー効率において車輪による移動に劣っている。

移動ロボットはこのような問題を抱えているがその一方で、歩行動物の特に四足歩行動物は移動速度に応じてエネルギー効率的に最適な歩容に切り替えて移動する<sup>[1]</sup>ことが知られており、そのメカニズムについて様々な研究が行われている。昨今の研究において東北大学の大脇らが位相振動子モデルによって四足歩行ロボットが、四足歩行動物に見られるものとよく似た歩容変化を自発的に行うという画期的な制御モデルを提案した<sup>[2]</sup>。これは足に搭載したセンサからの負荷フィードバックの大きさがロボットの力学的状態に応じて変化することで、振動子モデルの位相が変化し歩容遷移現象を発現するという制御モデルである。しかし、振動子の基準の周波数を決定する移動パラメータを制御ソフトウェア上で能動的に変化させる必要があることや、数理モデルであることによる計算時間と消費エネルギーが掛かる点でエネルギー効率に優れた歩行ロボットの制御としては改良の余地があると考えた。

そこで、我々が行ってきたハードウェアニューロンモデルを用いたロボット制御<sup>[3]</sup>を応用し、大脇らが提案した制御モデルをアナログ電子回路でモデル化し四足歩行ロボットの制御に利用することを試みた。

本論文ではハードウェアニューロンモデルを用いた自己回帰回路による制御で、四足歩行ロボットに自発的な歩容の変化を可能にすることを目的とした。そこで、足に掛かる負荷を想定したコントロール電圧を印加することでパルス周期が変化する自己回帰回路の開発を行った。今後はこの回路を四足歩行ロボットに搭載し、歩容と歩容遷移現象の発現が可能か検討を行う。

### 2. 自己回帰回路

Figure 1 に生物のニューロンの機能をアナログ電子回路で模倣したハードウェアニューロンモデルを示す。このモデルは内部電源電圧 $V_A$ によって変更可能な自励発振と他励発振の2つの発振モードがあり、Figure 2 に示す波形を出力する。

我々はこのモデルを基に Figure 3 に示す自己回帰回路を開発した。これはハードウェアニューロンモデルと、電圧入力に対して線形に電流を出力する回路、カレントミラー回路によって自励発振のニューロンモデルの出力がニューロンモデル自身の発振を抑制するよう構成されている。

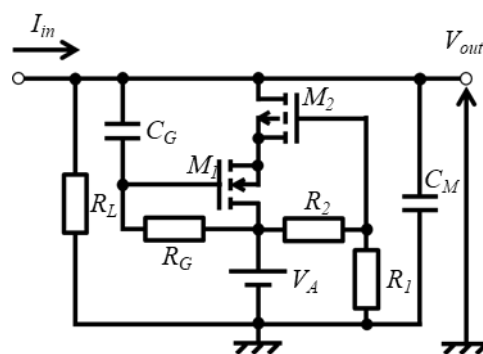


Figure 1. Circuit diagram of cell body model

また、抑制の強さをコントロール電圧によって変化させることで、それに応じてパルス周期を変化させることができる。

Figure4 にプリント基板に実装したこの回路のコントロール電圧とパルス周期の関係の測定結果を示す。Figure4 はコントロール電圧の入力によるパルス周期の変化が線形であることを示している。この特性は大脇らが提案したモデルにおける負荷フィードバックの変化に対する位相の変化が線形であることと対応している。

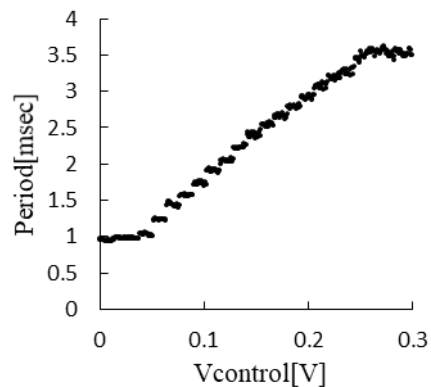


Figure4. Characteristic of Control voltage-Pulse period

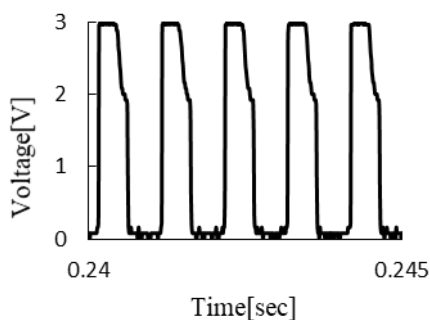


Figure2. Example of output waveform of Figure1

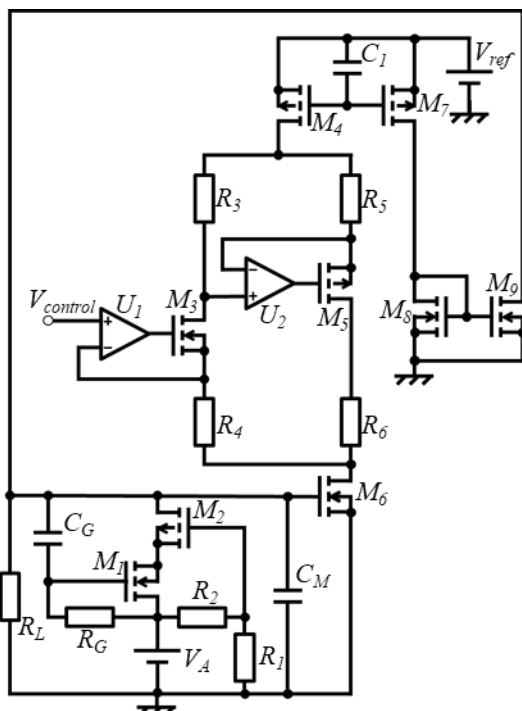


Figure3. Circuit diagram of self recurrent circuit

### 3. 四足歩行ロボットの制御

制御する四足歩行ロボットは各足 2 つの関節で計 8 個の PWM サーボモータにより構成され、足先に負荷を測定するための圧力センサが設置されたものとした。

歩行動作はマイクロコントローラにプログラムされた足の動きを繰り返すことで生成する。サーボモータに駆動信号を送る際に目標角度まで小さな一定角度ずつ、自己帰帰回路の出力パルスが立ち上がるたびに信号を送ることでほぼリアルタイムで足の駆動速度を変化させる。また、それぞれの足に掛かっている負荷から自己帰帰回路に印加するコントロール電圧を変化させることによりパルス周期が変化し、サーボモータの駆動速度が変化する。

### 4. まとめ

ロボットの足への負荷を想定した電圧の入力によりパルス周期をコントロールすることができる、アナログ電子回路による自己帰帰回路を開発した。今後は開発した回路を四足歩行ロボットに搭載し歩容や歩容遷移現象の発現が可能か検討を行う。

### 5. 参考文献

- [1] Hoyt, D. F. & Taylor, C. R. : “Gait and the energetics of locomotion in horses”, Nature 292, pp239-240, 1981
- [2] Dai Owaki, Akio Ishiguro : “A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions from Walking to Trotting to Galloping”, Scientific Reports 7, 277, 2017
- [3] Fumio Uchikoba, Yoshihiro Takahashi, Motoaki Kimura, Katsutoshi Saeki and Ken Saito : “Development of Millimeter Size MEMS Insect Type Locomotion Robot with Hardware Neural Networks Control”, J. Res. Inst. Sci. Tech., Nihon Univ. No. 135, pp 10-21, 2015