

M-4

0.18 μ m CMOS プロセスで構成した CPG モデルのロボット制御に対する一検討

A Study on Robot Control with CPG Model Implemented using a 0.18 μ m CMOS Process

○二瓶乃亮¹, 佐伯勝敏², 関根好文³

*Daisuke Nihei¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine³

Abstract: It is known that animal's rhythmic locomotion patterns are generated by CPG in the spinal cord. Moreover, quadruped change gait from any locomotion patterns in such a way as to minimize their energy consumption. Currently, quadruped locomotion patterns are classified into five states: walk, pace, trot, bound and gallop. Previously, we suggested a CPG model which generates quadruped locomotion patterns with interstitial cells.

In this paper, we investigate the integrated CPG model with the 0.18 μ m CMOS process rule. As a result, it is shown that the five locomotion patterns of quadruped are generated successfully and frequency suitable for controlling a quadruped locomotion robot. Moreover, we propose an interface circuit. As a result, it is shown that quadruped robot can be control.

1. まえがき

動物は、脊髄に存在するとされる CPG(Central Pattern Generator)で歩行などのリズム運動の生成・制御を行っており、上位中枢からの入力によって、環境に適した運動の生成・調整を行う。CPG の機能をロボットに工学的に応用することで、不整地に自律的に適応するロボットが作成可能であると考えている。

先に我々は、ニューロンを電子回路でモデル化したパルス形ハードウェアニューロンモデル^[1] (以降、P-HNM と略す) を用いて、四足歩行動物の運動パターンの生成・移行が可能な CPG をモデル化した ANN を提案した^[2]。提案した ANN は、四足歩行動物の歩行パターンである walk・pace・trot・bound・gallop の 5 つの歩行パターンを模した電圧波形を生成することができ、また、ロボットを動かすのに適した周波数のリズムパターンで生成することが可能である。

今回、我々が提案した介在細胞集団を用いた遊脚・接地パターンを生成する CPG モデルを 0.18 μ m プロセスにて集積化し、動作検証を行い、ロボットの制御を行ったので報告する。

2. 介在細胞集団

Fig.1 に P-HNM の回路図を示す。同図は我々が提案した CPG モデルを構成する基本単位の回路であり、細胞体モデルとシナプスモデルにより構成している。

Fig.2 に介在細胞集団の構成図を示す。介在細胞集団は、P-HNM を 4 つ縦続接続することで構成している。図中、Self は自励振発火をする P-HNM、 $S_n(n=1\sim3)$ は他励振発火をする P-HNM であり、○—は興奮性シナプスモデル、●—は抑制性シナプスモデルを示す。

Fig.3 に CPG モデルの構成図を示す。同図は一例として walk における接続を示している。介在細胞集団を 8 つ接続することで、ロボットの歩行制御を行う際に適切だとされる、数 Hz 単位の周波数を生成することが可能である。同図において、L は左、R は右、F は前脚、

H は後脚、F は屈筋、E は伸筋を示している。

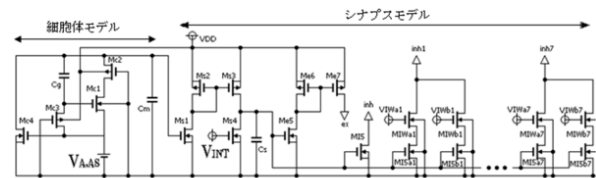


Fig.1 Pulse-type hardware neuron model

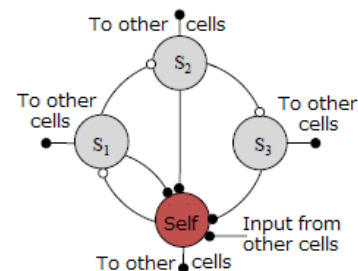


Fig.2 Interstitial cell model

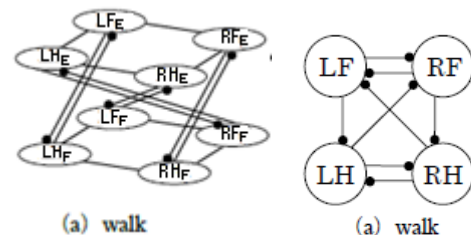


Fig.3 CPG model

3. 歩行パターンの生成

Fig.4 に集積化した CPG モデルの出力波形の一例として、歩行状態 walk における各脚の屈筋・伸筋の出力波形を示す。同図は、CPG モデルから出力される波形は矩形波を示しており、出力の有無を明確に区別することができる。

Fig.5 に各歩行状態時における各脚の出力の位相差を示す。同図は、出力の一周期を 360 度とし、横軸に角度を示し、90 度ごとに線で区切っている。縦軸の L, R 及び H, F は Fig.3 と同様である。図中、灰色の領域は屈筋が発火している状態、黒色の領域は伸筋が発火

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・教員・電子 3 : 日大名誉教授

している状態を示している。また、白で示した領域は出力がない状態を示している。同図より、walk, gallop は各脚に相当する介在細胞集団が順番に発火する四相同期波形を出力しており、pace, trot, bound はいずれか 2 つの介在細胞集団が同じタイミングで発火する二相同期波形を出力している。これらの介在細胞集団の発火タイミングは、四足動物が歩行を行う際に、屈筋・伸筋を発火させるタイミングと同じであり、これより、作成した CPG モデルは四足動物の歩行パターンが生成可能であることを示している。

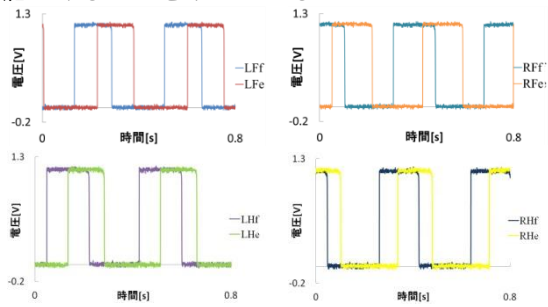


Fig.4 Output waveform of the CPG model (walk)

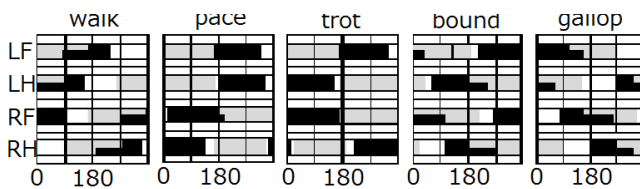


Fig.5 Quadruped locomotion patterns with a CPG model

次に、CPG モデル中の各電源である細胞体モデルの電源 V_A および V_{AS} 、シナプスモデルの時定数制御電源 V_{INT} の変化に対する出力周波数の変化を測定した。 V_A 、 V_{AS} を変化させた時は出力の周波数は大きく変化しない。

Fig.6 に V_{INT} に対する CPG モデル出力の周波数特性を示す。図中、横軸は V_{INT} 、縦軸は出力周波数を示している。同図は、 V_{INT} を調整することで出力周波数を調整することが出来ることを示している。

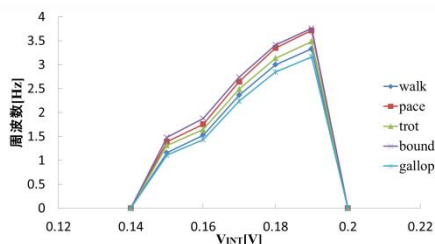


Fig.6 V_{INT} - Frequency characteristics

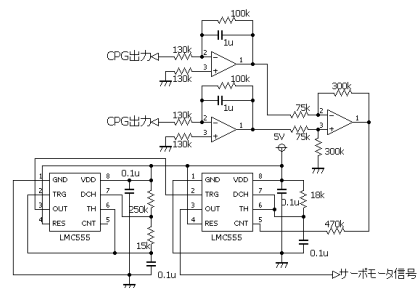
4. 歩行の生成

今回集積化した CPG モデルの出力には各脚の位相情報しかなく、そのままではロボットに一般的に搭載されているサーボモータを動作させることは出来ない。そこで、CPG モデルの出力波形をサーボモータが動作出来るよう成形する必要がある。

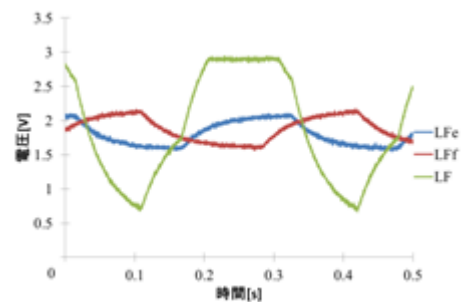
Fig.7(a), (b)に CPG モデルの出力を成形するインタフェース回路及び出力波形を示す。

同図(a)に示すインタフェース回路は、CPG モデルの方形波出力に位相情報に加え脚の振幅情報を付与する積分回路と差動増幅回路、ロボットのサーボモータを動作させるための LMC555 を用いた PWM 波生成回路で構成している。

同図(b)は、LF を例とした、インタフェース回路を通った CPG モデルの出力波形であり、インタフェース回路を通すことで CPG モデルの出力に位相情報に加え脚の振幅情報を持たせることが出来ることを示している。このインタフェース回路の出力を用いることで、ロボットの歩行制御が行えることを確認した。



(a) Interface circuit



(b) Output waveform

5. まとめ

我々が先に提案し 0.18 μ m デザインルールを用いて集積化した CPG モデルの動作検証を行い、ロボットの制御を行った。その結果、四足動物の各歩行パターンが正常に生成され、かつロボットを制御するのに適した周波数が生成できることを明らかにし、インタフェース回路によって、ロボットへの実装に向けて CPG モデルの出力に振幅情報を持たせ、ロボットの歩行動作を確認した。

今後は、インタフェース回路の小面積化を検討する予定である。

6. 参考文献

- [1]関根好文,佐伯勝敏:「カオス発生可能なパルス形ハードウェアニューロンモデルの実装とその応用」,日本神経回路学会誌,Vol.15,No.1,pp.27-38,(2008)
- [2]Katsutoshi Saeki, Tatsuya Tatebe, Yoshifumi Sekine: 「A Study on CPG Model Transition Swing and Stance Pattern with Interstitial Cells」,International Joint Conference on Neural Networks,264,pp.177-184,(2012)