

バースト発火を考慮した四足歩行運動パターン生成に対する一検討 A Study on Generation of Quadruped Locomotion Pattern Considering Burst Firing

○浅井信ノ輔¹ 建部達弥² 佐伯勝敏³ 関根好文³

Asai Shinnosuke¹ Tatebe Tatsuya² Saeki Katsutoshi³ Sekine Yoshifumi³

Abstract: There are two basic conditions with burst firing phenomena: a firing condition in which impulses are produced and a non-firing condition in which an impulse is not produced at all. It is reported that the burst firing phenomena can be observed in neural networks and neurons.

In this paper, we investigate low frequency implementation of the pulse-type hardware CPG models considering the burst firing by the HSPICE. As a result, we show that the proposed CPG model with burst firing phenomena is able to generate quadruped locomotion pattern by low frequency.

1. まえがき

動物の歩行運動は、上位中枢に存在する CPG(Central Pattern Generator)と呼ばれる中枢神経系内のニューロン群で生成されることが知られている^[1]。歩行速度は、CPG 内のニューロンの周波数に対応する。一方、神経回路網における出力パルスの中に発火・非発火を繰り返すバースト発火現象は、軟体動物のように細胞体単体により生じるものや、哺乳動物のように多数のニューロンが結合することによって生じるものまで多数の生物の脳神経系に見られる^[2]。先に我々は、パルス形ハードウェアニューロンモデル(以下 P-HNM と略す)で構成したパルス形ハードウェア興奮抑制ニューロン対(以下 EI と略す)を用い四足動物の歩行制御が可能なパルス形ハードウェア CPG モデル(以下 P-HCPGM と略す)を提案した^[3]。しかし、ロボットへの搭載を考えた場合、発振周波数を低くする必要がある。

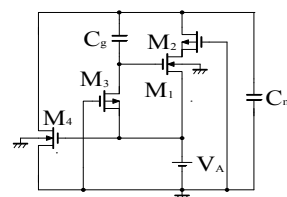
本論文では、P-HCPGM にバースト発火を用いることにより、歩行パターンの低周波化について、HSPICE によるシミュレーションにより検討を行ったので報告する。

2. 本論

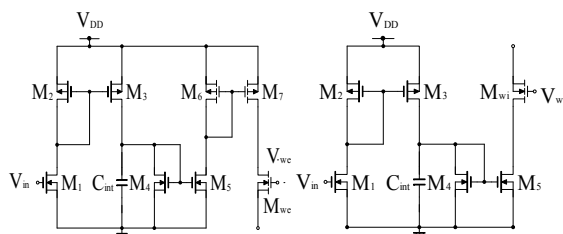
図 1 に P-HNM の回路図を示す。同図(a)は細胞体モデル、同図(b)は興奮性シナプスモデル、同図(c)は抑制性シナプスモデルを示す。興奮性シナプス結合荷重値および抑制性シナプス荷重値は、それぞれ結合荷重値制御電圧 V_{we} および V_{wi} の制御により、シナプスの結合荷重値および結合構成を制御することが可能である。抑制性シナプスは電流を引き込む作用があり、興奮性シナプスは電流を供給する作用がある。

図 2 に歩行パターンを生成する P-HCPGM の構成を

示す。同図(a)は P-HCPGM の基本構成である、EI の概略図を示す。図中○と E はそれぞれ興奮性シナプス部と P-HNM の細胞体部からなる興奮性ニューロンを示し、●と I はそれぞれ抑制性シナプス部と P-HNM の細胞体部からなる抑制性ニューロンを示す。同図は興奮性ニューロンと抑制性ニューロンを相互結合したモデルで、興奮性出力と抑制性出力を有しており各出力の周波数を制御可能なモデルで、興奮性細胞体にバースト発火を生成することが可能である。同図(b)は P-HCPGM の概略図である。本モデルは EI₁, EI₂, EI₃, EI₄ をそれぞれ、四足歩行動物の左前肢(LF), 左後肢(LH), 右前肢(RF), 右後肢(RH)に対応させた。また、各 EI の抑制性細胞体同士を抑制性シナプス部により相互抑制結合させた構成とした。



(a) Cell body model



(b)Excitatory synapse model (c)Inhibitory synapse model

Fig. 1. Pulse-type hardware neuron model

図 3 に四足動物における代表的な歩行パターンを示す。同図は左前肢(LF)を基準としたときの相対位相差であり、今回検討する P-HCPGM で同図に示した歩行

パターンの生成を行った。

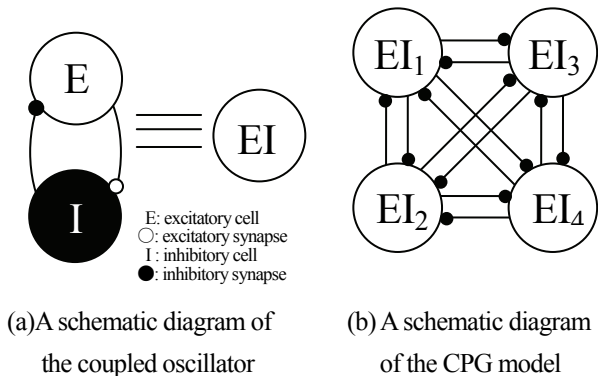


Fig.2. A construction of the pulse-type hardware CPG model

LF	RF	0°	180°	0°	180°	0°	180°	0°	0°	0°	90°
LH	RH	270°	90°	0°	180°	180°	0°	180°	180°	270°	180°
Each limb		walk		pace		trot		bound		gallop	

Fig.3. Relative phase difference of a quadruped locomotion patterns with a typical example.

図 4 に歩行パターンを生成する P-HCPGM の結合構成の一例を示す。相互抑制結合すると細胞体は交互に出力を発生し、位相のみが反転する逆相同期となる。抑制性ニューロンを閉ループ結合すると、閉ループ結合の逆方向である順で振動するようになり、位相差の制御が可能である。同図は walk を生成する結合構成で、肢の相対位相差が 180° である LF-RF 間、LH-RH 間を相互抑制結合する。また、各肢は LF, RH, RF, LH の順で 90° 位相差を有しているが、興奮抑制ニューロン対モデル同士を相互抑制結合させると興奮性細胞体部が逆相同期するため、発振順の順方向で抑制性結合する。また、抑制性細胞体のコンデンサ C_g と興奮性細胞体のコンデンサ C_e を変化させると興奮性細胞体部にバースト発火のような波形が見られる。

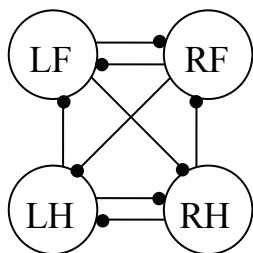


Fig.4. A schematic diagram CPG generates quadruped locomotion pattern

図 5 に歩行パターンが walk のときの 4 つの抑制性細胞体の出力と、4 つの興奮性細胞体の出力を示す。実線は LF, 点線は LH, 破線は RF, 長鎖線は RH を示す。興奮性細胞体部の回路定数は $M_1, M_2 : W_1/L_1=W_2/L_2=10, M_3 : W_3/L_3=0.05, M_4 : W_4/L_4=1/3, C_g=100[pF], C_m=10[pF]$ とし、抑制性細胞体部の回路定数は $M_5, M_6 : W_5/L_5=W_6/L_6=10, M_7 : W_7/L_7=0.1, M_8 : W_8/L_8=1/3,$

$C_g=50[pF], C_m=10[pF]$, それぞれの EI を接続する抑制性シナプス部の回路定数は $M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{14} : L_{11}/W_{11}=L_{12}/W_{12}=L_{13}/W_{13}=L_{14}/W_{14}=1, M_{15i}, M_{wi} : L_{15i}/W_{15i}=L_{wi}/W_{wi}=20, C_i=25[pF]$, EI を構成する抑制性シナプス部は $M_{211}, M_{212}, M_{213}, M_{214} : L_{211}/W_{211}=L_{212}/W_{212}=L_{213}/W_{213}=L_{214}/W_{214}=1, M_{215i}, M_{2wi} : L_{215i}/W_{215i}=L_{2wi}/W_{2wi}=40, C_{2i}=80[pF]$ とし、興奮性シナプス部の回路定数は $M_{E1}, M_{E2}, M_{E3}, M_{E4}, M_{E5e}, M_{we} : L_{E1}/W_{E1}=L_{E2}/W_{E2}=L_{E3}/W_{E3}=L_{E4}/W_{E4}=L_{E5e}/W_{E5e}=L_{we}/W_{we}=1, C_E=3[pF]$ とした。同図は本モデルの出力が walk の相対位相差を持っており、バースト発火により抑制性細胞体の出力よりも興奮性細胞体の出力周波数が約 1/3 低くなっていることを示している。

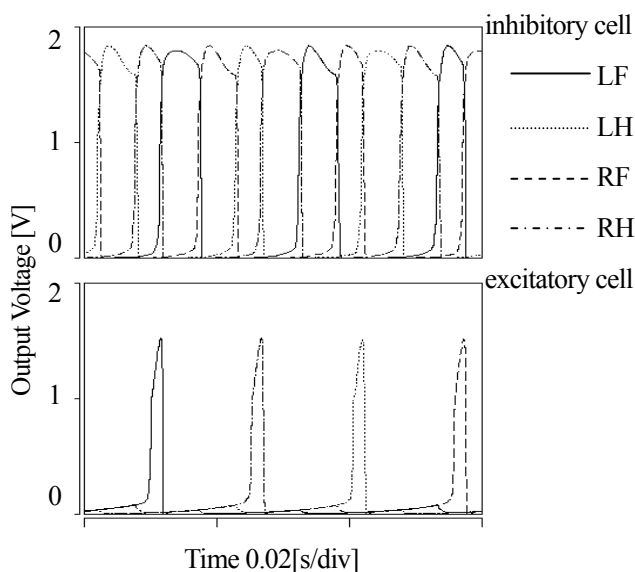


Fig.5. Output of P-HCPGM

3. まとめ

本論文では、P-HCPGM にバースト発火を用いることにより、歩行パターンの低周波化について HSPICE によるシミュレーションにより検討を行った。その結果、P-HCPGM にバースト発火を用いることで周波数を従来より約 1/3 とし、歩行パターンの生成が可能であることを明らかにした。

今後は、単体でもバースト可能なパルス形ハードウェアバーストニューロンを用いて P-HCPGM に構成し、さらなる低周波化を目指す予定である。

4. 参考文献

- [1]日置智子, 西井淳:「基本的な運動パターンを実現するための階層的な運動学習モデル」, 信学技報 NC, pp47-52, 2004.6.
- [2]佐伯勝敏, 関根好文, 合原一幸:「パルス形ハードウェアバーストニューロンモデル」, 信学論 C, vol.J83-C No.3 pp213-219, 2000.3.
- [3]秦恵子, 関根好文, 中洞芳史, 佐伯勝敏:「四足歩行運動パターンを生成・移行可能なパルス型ハードウェア CPG モデル」, 電学論 C, pp52-58, 2007.