

M-17

自己回帰回路を付加したパルス形ハードウェア興奮抑制ニューロン対モデルの
位相差制御に対する一検討

A Study on Controlling Phase Difference of Pulse-Type Hardware
Excitatory Inhibitory Neuron Pair Model with Self-recurrent Circuit

○渡邊晋吾¹, 中里光志², 佐伯勝敏³, 関根好文³

Shingo Watanabe¹, Mitsushi Nakazato², Katsutoshi Saeki³, Yoshifumi Sekine³

Abstract: In this article, we propose the pulse-type hardware excitatory inhibitory neuron pair model with self-recurrent circuit which is able to control synaptic weight. We investigate expansion of the phase difference for the excitatory inhibitory output.

As a result, we suggest that it is possible for the proposed model to expand to 1.95 times more than the control range of the phase difference for the excitatory inhibitory output.

1. まえがき

近年、ロボットの歩行パターン制御の実用化に向けた研究が盛んに行われている[1]. 生物学的に、生体の歩行運動などのリズム運動生成は、CPG(Central Pattern Generator)によって生成されることが報告されている[2]. また、生体のリズム生成機構を工学的に応用するには、歩行パターンは各肢の相対位相差によって、決定できることが報告されている.

先に我々は、各肢の相対位相差の制御に、パルス形ハードウェア興奮抑制ニューロン対モデル(以下 P-HNM_{E-I}と略す)[3,4]を用い、細胞体の位相差制御が可能なモデルを提案した[5]. しかし、ロボットの歩行制御のためには、より広い位相差制御範囲が必要とされている.

本論文では、P-HNM_{E-I}に対して、興奮性細胞体部と抑制性細胞体部のそれぞれの出力の位相差を拡大させるために、自己回帰回路を付加した場合について、PSpiceを用いて検討を行い、実測した結果を報告する.

2. 本論

Fig.1 に今回提案する自己回帰回路を付加した P-HNM_{E-I}の回路図を示す. 同図は細胞体部と興奮性シナプス部からなる興奮性ニューロン部と細胞体部と抑制性シナプス部からなる抑制性ニューロン部を相互結合し、それぞれ興奮性及び抑制性の自己回帰回路を有するモデル[5]である. 図中の PIC は、発火周波数の変化を読み取り R-2R ラダー抵抗の抵抗値を制御することで、シナプス結合荷重値を制御する. また、各回路間の干渉を防ぐ為に回路間にボルテージ・フォロアを挿入した.

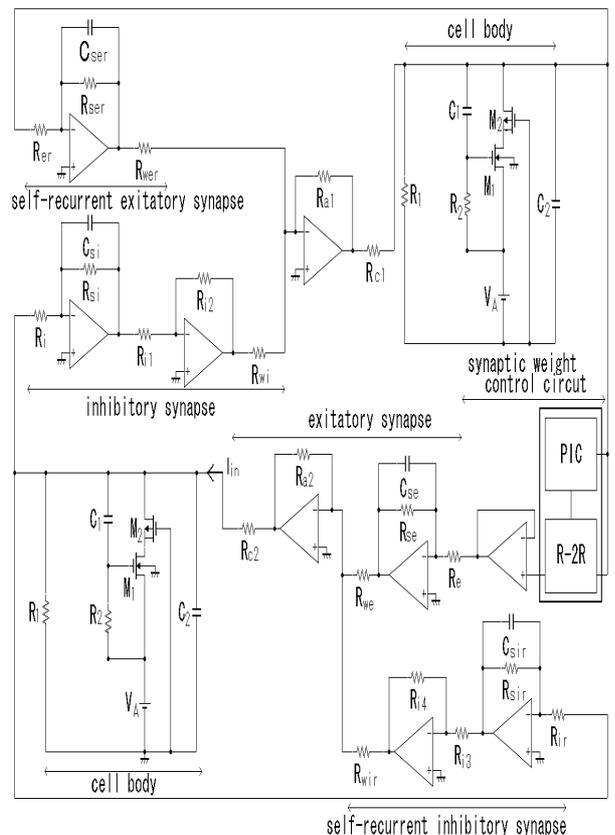


Fig.1 Pulse-type hardware excitatory inhibitory neuron pair model with self-recurrent circuit

Fig.1 の回路定数を以下に示す.

$C_1=0.1[\mu\text{F}]$, $C_2=C_{si}=C_{ser}=C_{sir}=C_{se}=0.01[\mu\text{F}]$, $R_1=51[\Omega]$
 $R_i=R_{si}=R_e=R_{se}=R_{er}=R_{i3}=R_{i4}=1[\text{k}\Omega]$, $R_{ser}=R_{sir}=10[\text{k}\Omega]$
 $R_{i1}=R_{i2}=R_{wi}=R_{we}=R_{wir}=R_{wer}=R_{a1}=R_{c1}=R_{a2}=0.1[\text{k}\Omega]$
 $R_2=150[\Omega]$, $R_{c2}=510[\Omega]$

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院・電子 3 : 日大理工・教員・電子

Fig.2 に細胞体に流れ込む電流の特性を PSpice を用いてシミュレーションした結果を示す。図中、横軸に細胞体部の電源電圧 V_A 、縦軸に細胞体に流れ込む電流 I_{in} を示す。同図は、興奮性及び抑制性の自己回帰回路を付加することで、細胞体に流れる電流が大きくなることを示している。このことは、シナプス結合荷重値が大きくなることを示している。

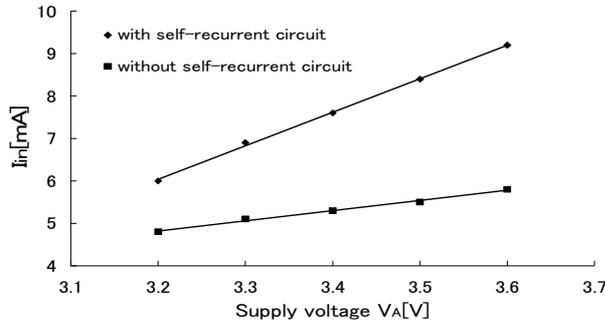


Fig.2 V_A - I_{in} characteristic

Fig.3 に P-HNM_{E-I} の発火周波数に対する細胞体部の電源電圧 V_A 特性の実測結果を示す。図中、横軸に V_A 、縦軸に出力周波数を示す。同図において、 V_A には発火範囲が存在し、3.2[V]を越えると細胞体部が発火し、 V_A を上昇させ 3.6[V]を越えると発火しなくなることを示している。また、発火範囲内では、発火周波数は V_A の上昇とともに発火周波数も高くなることを示している。このことは、発火範囲内で V_A を制御することで P-HNM_{E-I} の発火周波数を変化させることが可能であることを示している。

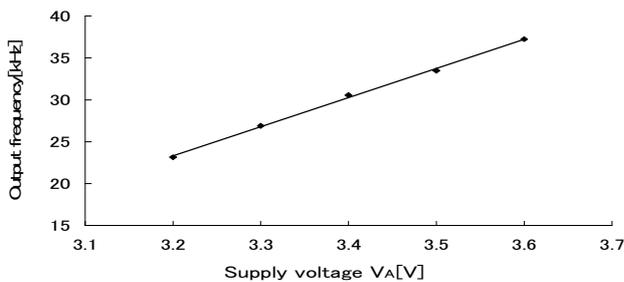


Fig.3 Output frequency

Fig.4 に細胞体部の電源電圧に対する興奮抑制ニューロン対の興奮性細胞体部と抑制性細胞体部のそれぞれの出力の位相差の実測結果を示す。図中、横軸に V_A 、縦軸に位相差を示す。同図は、 V_A を変化させた時の興奮性及び抑制性の自己回帰回路がある場合とない場合の特性を示している。同図より、自己回帰回路がない場合は、66~130[°]の位相差の制御範囲が得られ、自己回帰回路がある場合は 63~188[°]の位相差の制御範囲が得られた。このことは、自己回帰回路を付加することで、シナプス結合荷重値が大きくなり、位相差の制御範囲が拡大したと考えられる。

以上より、自己回帰回路を付加することで、位相差の制御範囲が 1.95 倍に広がることから、CPG の制御範囲が広がる可能性を示している。

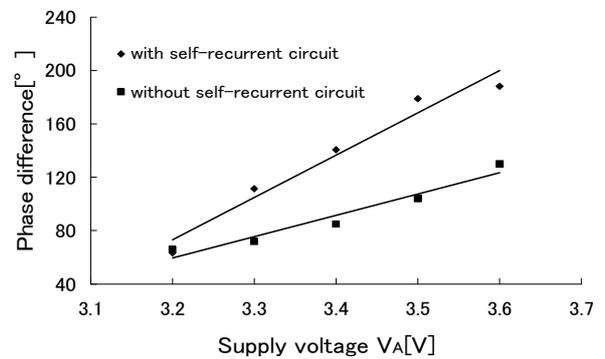


Fig.4 Phase difference of pulse-type hardware excitatory inhibitory neuron pair model

3. まとめ

本論文では、パルス形ハードウェア興奮抑制ニューロン対モデルにシナプス結合荷重値制御回路及び、自己回帰回路を付加し、興奮性、抑制性出力に対する位相差の拡大について検討を行った。その結果、ニューロン間の結合荷重値制御を行い、自己回帰回路を付加することで、パルス形ハードウェアモデルの制御範囲を 1.95 倍に広くできることを明らかにした。

今後は、電源電圧制御回路を加え、回路の安定化を図り、CPG への実装を行うために、回路構成の検討を行う予定である。

4. 参考文献

- [1] 長篠博文, 古市敏也, 木内陽介, 「結合神経振動体モデルの解析」, 信学技報, NLP94-19, pp.61-66, 1994-5.
- [2] M. L. Shik, and G. N. Orlovsky, "Neurophysiology of Locomotor Automatism", *Physiol. Review*, 56, pp.465-501, 1976.
- [3] 中里光志, 松木誠司, 佐伯勝敏, 関根好文, 「パルス形ハードウェア興奮抑制ニューロン対モデルの位相差制御に対する検討」, 電学全大, Vol.2009, No3, pp.7-8, 2009-3.
- [4] 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・移行可能なパルス形ハードウェア CPG モデル」, 電学論 C, Vol.127, No1 pp.52-58, 2007-1.
- [5] 中洞芳史, 佐伯勝敏, 関根好文, 「パルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた興奮抑制ニューロン対の同期現象」, 信学技報, NC2003-87, pp.43-48, 2003-11.