

振幅情報を有した二足歩行パターンを生成する CPG モデル
CPG Model Generating a Biped Locomotion Pattern with the Amplitude Information

○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 a CPG(Central Pattern Generator) in the spinal cord. In recent years, robotics researches have gone into investigating the compatibility of an automatic adaptive robot with a CPG. Previously, we suggested a CPG model which generates quadruped locomotion patterns with interstitial cells. However, it was difficult to control locomotion of a robot because conventional CPG model has no amplitude information in the output waveform. In this paper, we suggest a hardware CPG model that is able to generate signal to control locomotion of a biped robot.

1.まえがき

動物は、脊髄に CPG(Central Pattern Generator)と呼ばれる歩行などのリズム運動の生成・制御を行っている神経回路網を有しているとされる。近年、CPG の機能を工学的に応用し、動物のように環境に適した歩行動作を行うロボットに対する研究が行われている。先に我々は、生体の細胞体およびシナプス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、ロボットを動かすのに適した数[Hz]程度の発振周波数を数百[μ F]オーダーのコンデンサで生成することが可能である。しかし、先に提案した CPG モデルは、出力波形に振幅情報を有しておらず、そのままでは、ロボットに搭載して歩行制御を行うのが困難であった。

本稿では、振幅情報を含んだ二足歩行ロボットの歩行制御信号を生成可能な CPG モデルを提案する。

2.ハードウェア CPG モデル

Fig.1 に、提案するハードウェア CPG モデルを構成する最小単位の回路である P-HNM の回路図を示す。P-HNM は生体におけるニューロンを電子回路化したモデルである。図中、Cell body model はニューロン内における細胞体の発火現象を模した動作を行う電子回路であり、一定の直流電圧 V_A を加えることでパルス状の電圧発振波形が得られる電子回路である。Synapse model は時空間加算特性を有した積分回路と、興奮性および抑制性の二種類のシナプスモデルで構成している。積分回路は、INT 端子により時定数を調整することが可能である。興奮性シナプスは接続先の P-HNM に電力を供給するカレントミラー回路、抑制性シナプスは接続先の P-HNM から電力を引き抜くカスケード増幅回路で構成している。

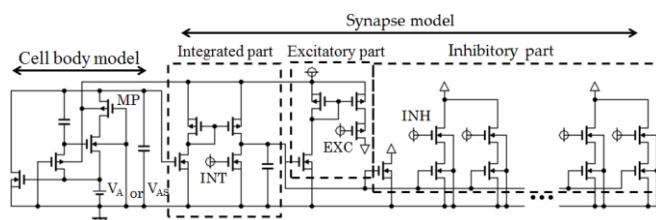


Fig.1 P-HNM

Fig2 に、複数の P-HNM をシナプスモデルを介して縦続接続することで構成した介在細胞集団モデルの構成図を示す。図中、大きな丸は P-HNM を示し、—○は興奮性シナプスモデル、—●は抑制性シナプスモデルによって前・後段の P-HNM と接続していることを示している。図中、Self は一定の直流電圧 V_A を加えて自励発振する P-HNM を、 S_n (n は整数) は一定値以下の直流電圧 V_{AS} を加え、外部からの電力供給により発振する他励発振の P-HNM を示している。介在細胞集団モデルを構成することにより、集積化が容易な低容量を用いて数 Hz 程度の低周波を生成することが可能である。

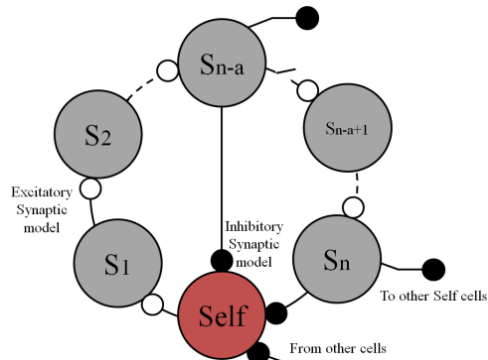


Fig.2 An interstitial cell model

Fig.3 にハードウェア CPG モデルの構成図を示す。図中、灰丸は介在細胞集団モデルを示しており、黒丸は抑制性シナプスモデルを示している。CPG モデルに用いている介在細胞集団モデルには P-HNM を 20 個使用している。

Fig.4 に、作成した CPG モデルの出力波形を示す。同図より、各介在細胞集団モデル内の最終段の P-HNM

1 : 日大理工・院 (前)・電子 2 : 日大理工・教員・電子 3 : 日大名誉教授

が交互に発振し、二相同期波形を出力していることがわかる。

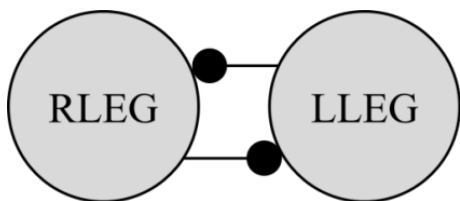


Fig.3 Hardware CPG model

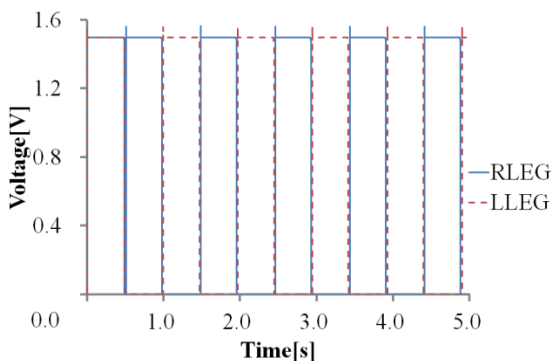


Fig.4 Output waveforms of CPG model

3. 振幅情報の付与

Fig.4 の CPG モデルの出力波形には脚の位相情報しかないため、そのままではロボットに歩行制御を行わせることができない。そこで、滑らかな歩行制御を実現可能な振幅情報を CPG に加える必要がある。

Fig.5 に、歩行制御回路のブロック図を、Fig.6 に Fig.5 中における振幅情報生成回路を示す。振幅情報生成回路は、高いアスペクト比の P もしくは N 型 MOSFET と、それとは異なる型でかつ前述の MOSFET よりも十分に低いアスペクト比の MOSFET を複数並列に用いたソース接地回路で構成している。同回路は、用いている振幅情報生成回路の例として、1 つの NMOS に対し複数の PMOS を並列に繋げた回路を示す。各 PMOS のゲートは CPG モデルを構成する介在細胞集団モデル内の P-HNM の出力端子に接続している。

Fig.7 に、振幅情報生成回路を通した CPG モデルの出力波形を示す。同図は、0.18 μ m CMOS プロセスルールを用い、回路シミュレータ HSPICE によるシミュレーション結果を示している。同図より、CPG モデルの出力波形に緩やかな傾きを持つ振幅情報を付与することが可能であることがわかる。また、同図 2~3 秒の間において、外部情報処理回路から特定の信号を振幅制御回路に出力することで、その場での待機行動やバランス保持に有用な足踏みの動作を表現可能な振幅情報を生成することが可能であることを示している。

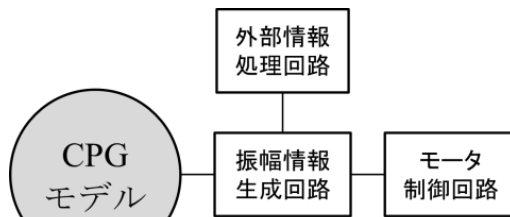


Fig.5 Locomotion controlled circuit

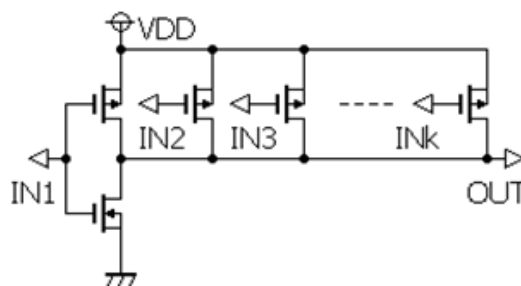


Fig.6 Amplitude information generating circuit

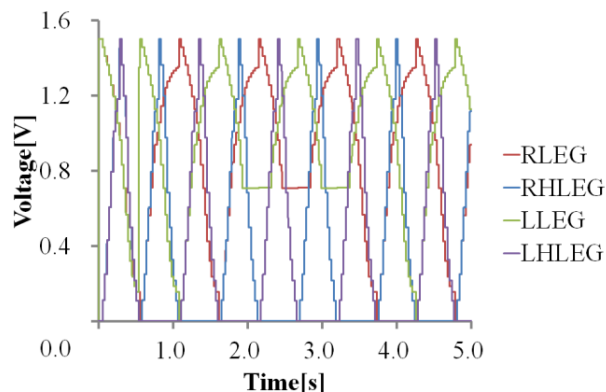


Fig.7 Output waveforms of CPG model with Fig.6

4. まとめ

本稿では、振幅情報を含んだ二足歩行ロボットの歩行制御信号を生成可能な CPG モデルを提案した。その結果、CPG モデルの出力波形に付与する振幅情報生成回路を用いることで、ロボットの歩行を制御可能な振幅情報を生成可能であることを明らかにした。

今後は、提案した回路の集積化ならびに、ハードウェア CPG モデルを介したセンサフィードバックによるロボットの歩行制御について検討する予定である。

5. 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.