

介在細胞集団を用いた遊脚・接地パターンを生成する CPG モデルに対する検討
 A Study on CPG Model Generating Swing and Stance Patterns with Interstitial Cells

○建部達弥¹ 佐伯勝敏² 関根好文²

*Tatsuya Tatebe¹ Katsutoshi Saeki² Yoshifumi Sekine²

Abstract: It is known that the quadruped locomotion patterns are generated by CPG (Central Pattern Generator) with interstitial cells in the central nervous system. Therefore, many investigators study the control adaptations of robots using CPG models. Previously, we suggested an interstitial cells model generating low frequency rhythm fire using capacitors of low value. In this paper, we suggest a CPG model generating swing and stance patterns with interstitial cells by HSPICE. As a result, it is shown that the proposed CPG is able to generate swing and stance patterns.

1. 序論

動物の歩行・飛翔・遊泳などのリズムは、介在細胞のネットワークにより構成される CPG(Central Pattern Generator)の働きにより生成・制御されている^[1]。脊椎動物の歩行運動の特徴は定型的な四肢の運動パターンであり、各パターンは各肢間の相対位相差によって定義できる。また、歩行パターンは、要求された速度に対するエネルギー消費が最小になるパターンが適用される^[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)を用い四足歩行運動の生成・移行が可能な ANN を提案した^[3]。また、我々は従来の ANN において、ロボットの歩行に必要な低周波リズムの生成に高容量が必要であった問題に対し、低容量で低周波数リズムパターンを生成可能な介在細胞集団モデルを提案した^[4]。

今回、遊脚・接地パターンの生成を目的に、介在細胞集団を用いた CPG モデルについて HSPICE により検討を行ったので報告する。

2. 本論

Fig.1 に P-HNM の回路図を示す。P-HNM は細胞体部とシナプス部からなる。細胞体部は電源電圧 V_A の値により、自律的に発振する自励発振と、外部入力電流により発振する他励発振の 2 つの状態を有し、シナプス部は興奮性出力と抑制性出力を有する。

Fig.2 に介在細胞集団の概略図を示す。図中、Self は自励発振する細胞体部を示し、 $S_1 \sim S_N$ は他励発振する細胞体部を示す。—○は興奮性シナプス部を示し、—●は抑制性シナプス部を示す。Self が発振した時、Self- S_1 間の興奮性シナプス部を通し、 S_1 は Self の出力を受け、パルスを出力する。また、Self- S_1 間の抑制性シナプス

部を通し、 S_1 の出力は Self の発振を抑制する。同様に、 S_1 の出力は S_2 を興奮させ、Self の発振を抑制する。この繰り返しの繰り返しにより、 $S_1 \sim S_N$ は順番に発振し、 $S_1 \sim S_N$ の出力は、出力が立ち下がるまで Self の発振を抑制する。抑制が終わると Self は再び発振する。その結果、Self、 $S_1 \sim S_N$ の出力が連続したパルス群を生成する。また、Self、 $S_1 \sim S_N$ が発振した時、Self、 $S_1 \sim S_N$ から他の介在細胞集団に結合する抑制性シナプス部を通し、Self、 $S_1 \sim S_N$ の出力は他の介在細胞集団の発振を抑制する。

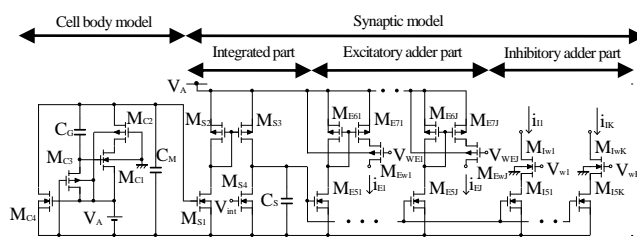


Fig.1 P-HNM

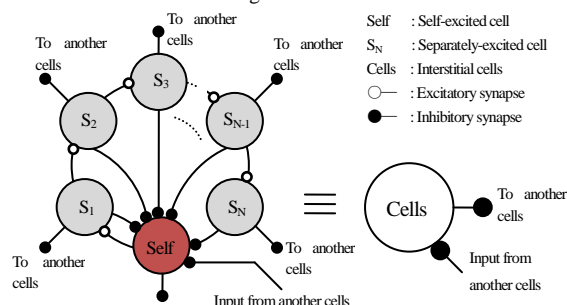


Fig.2 Schematic of interstitial cells

Fig.3 に細胞体部および介在細胞集団の周波数-容量特性を示す。同図は、Fig.1 に示した細胞体部の C_G および C_M を同時に変化させた時の発振周波数特性を示している。図中、青線は先に提案した ANN で用いた自励発振する細胞体部の周波数特性を示し、赤線は介在細胞体集団の周波数特性を示す。今回、介在細胞集団は $N=3$ とした。同図より、介在細胞集団は従来の細胞体部より約 $1/10^5$ の容量で、1Hz~10Hz 程度の低周波数

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・子情・教員

発振が可能である事を示している。

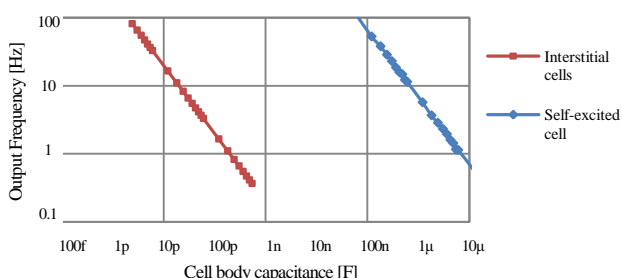


Fig.3 Characteristic of Frequency-Capacity

Fig.4 に、遊脚パターンおよび接地パターンを生成する CPG モデルの構成を示す。同図は、四足歩行運動の遊脚パターンを生成する屈筋制御 CPG および接地パターンを生成する伸筋制御 CPG の概略図で、各出力の位相差を制御可能なモデルである。介在細胞集団を示す、Cells₁, Cells₂, Cells₃, Cells₄ の出力を、それぞれ四足動物の左前肢(LF), 左後肢(LH), 右前肢(RF), 右後肢(RH) に対応させた。

Fig.5 に、CPG モデルの構成を示す。図中、Cells_{F1}, Cells_{F2}, Cells_{F3}, Cells_{F4} は屈筋を制御する介在細胞集団を示し、出力をそれぞれ四足歩行動物の各肢の左前肢の屈筋(LF_F), 左後肢の屈筋(LH_F), 右前肢の屈筋(RF_F), 右後肢の屈筋(RH_F) に対応させる。同様に Cells_{E1}, Cells_{E2}, Cells_{E3}, Cells_{E4} は伸筋を制御する介在細胞集団を示し、四足歩行動物の各肢の出力をそれぞれ四足歩行動物左前肢の伸筋(LF_E), 左後肢の伸筋(LH_E), 右前肢の伸筋(RF_E), 右後肢の伸筋(RH_E) に対応させる。また、各介在細胞集団は、他の介在細胞集団と相互抑制結合しており、シナプス結合構成の制御が可能モデルである。

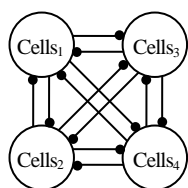


Fig.4 Construction of Flexor CPG and Extensor CPG model

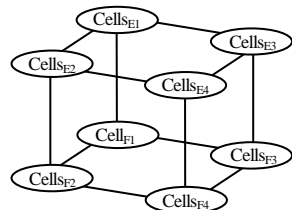


Fig.5 Construction of CPG model generating swing and stance patterns

Fig.6 に四足動物における代表的な歩行パターンを示す。同図は四足動物の代表的な歩行パターンにおける各肢の遊脚・接地の状態を示している。図中、横線は 1 周期における LF, RF, RH, LH の状態であり、破線は肢が地面から離れる遊脚相を示し、太線は肢が地面にふれている接地相を示している。今回、Fig.5 に示した CPG モデルの結合構成を制御することにより、歩行パターンの生成を行った。Fig.2 に示す介在細胞集団を用いた CPG モデルの全容量は、従来の ANN の全容量の約 1/10⁵ の容量となり、四足歩行動物の一般的な歩行

パターンを 1Hz~10Hz 程度で生成可能であるという結果が得られた。

Fig.7 に CPG モデルの出力波形の一例を示す。同図は、trot の歩行パターンを接地率 $\beta \approx 0.5$ で生成していることを示している。

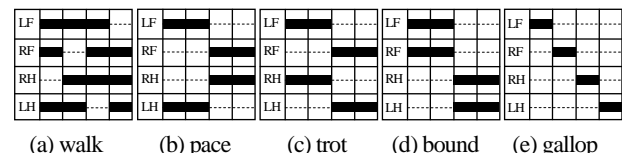


Fig.6 Swing and stance patterns of a quadruped locomotion

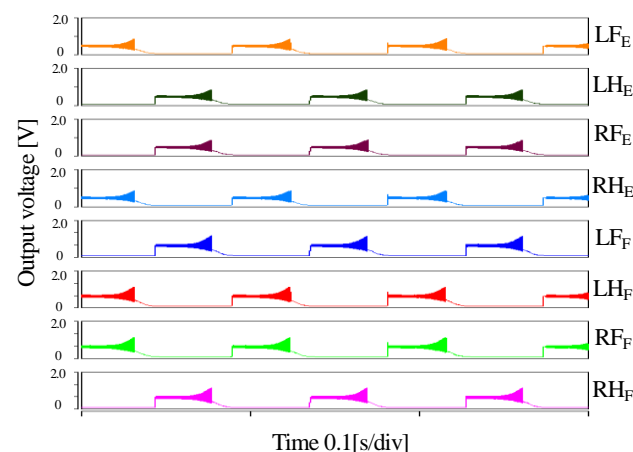


Fig.7 Output of CPG model generating trot pattern

3. まとめ

今回、遊脚・接地パターンの生成を目的に、介在細胞集団を用いた CPG モデルについて HSPICE により検討を行った。その結果、従来より約 1/10⁵ の容量で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、VDEC を通して本モデルの IC 化を行い、ロボットへの実装について検討を行う予定である。

4. 謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社・シノプス株式会社の協力で行われたものである。

5. 参考文献

- [1] 高草木薫:「歩行の神経機構 Review」, Brain Medical, Vol.19, No.4, pp.307-315, 2007.
- [2] 伊藤宏司, 伊藤正美:「生体とロボットにおける運動制御」, 計測自動制御学会, 1991.
- [3] 建部達弥, 佐伯勝敏, 関根好文:「四足歩行運動の遊脚・接地パターンの生成・移行を行う ANN に対する検討」, 知能システムシンポジウム, Vol.38, pp.345-348, 2010.
- [4] 建部達弥, 佐伯勝敏, 関根好文:「介在細胞集団を用いた CPG モデルに対する検討」, 信学ソ大, A-1-4, p.4, 2011.