

四足歩行運動の接地・遊脚タイミングを生成・移行する ANN に対する一検討
 A Study on ANN with Generation and Transition of Stance and Swing Timing of Quadruped Locomotion

○建部達弥¹ 佐伯勝敏² 関根好文²

Tatebe Tatsuya¹ Saeki Katsutoshi² Sekine Yoshifumi²

Abstract: It is known that the locomotion of a living organism such as walking, is generated and transmitted by CPG (Central Pattern Generator) in the central nervous system. In this paper, we consider implementaion to the robot, suggest the ANN circuit which controlled the quadruped locomotion stance and swing timing based on pulse-type hardware CPG model by simulation of HSPICE. As a result, it is shown that each limb which has quadruped locomotion pattern and used pulse-type hardware neuron model is able to generate and transition stance and swing timing by output pulses of the neuron models.

1. まえがき

動物は脊椎内の機構だけで歩行、遊泳、飛翔などのリズム運動の神経活動を生成、制御する CPG(Central Pattern Generator)を有しており、CPG は脊椎介在ニューロンを含む相互結合的な神経回路で構成されている⁽¹⁾。歩行に関与する神経システムは主に CPG と末梢からの感覚などにより発生する反射の組み合わせにより生成されており、脳幹・小脳・大脳など上位中枢から調整を受けている⁽²⁾。歩行は筋を伸ばす伸筋、筋を屈曲する屈筋により駆動される。それぞれの肢は、肢を地面から持ち上げ前方に振る遊脚相と、肢が身体の動きと逆方向に運動し推力を得る接地相の二つの相からなる運動を行う。接地相は伸筋により駆動され、遊脚相は屈筋により駆動される。また、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る⁽³⁾。

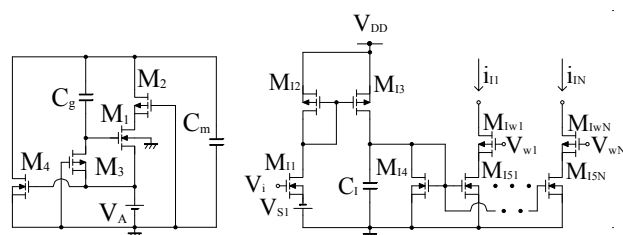
従来のロボット工学は不整地や外乱などに対し自律適応に乏しく、体性感覚をフィードバックして歩行を行う生体の優れた移動運動を基に、生物規範型のロボットの構成が有効である。

本論文では、先に我々が提案したパルス形ハードウェア CPG モデルを基に、実装を考慮し、四足歩行運動の歩行パターンの接地・遊脚タイミングを生成・移行する ANN の回路構成について 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 に歩行制御を行う ANN の基本回路である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)の回路図を示す。同図(a)は細胞体回路を示し、同図(b)は抑制性シナプス回路を示す。抑制性シナプス回路は結合荷重制御素子 $M_{Iwi}(i=1\sim N)$ のゲートに入力する結合荷重制御電圧 $V_{wi}(i=1\sim N)$ の制御により、シナプスの結

合荷重および結合構成を制御することが可能である。



(a) Cell body model (b) Inhibitory synaptic model

Fig.1. P-HNM

図 2 に歩行パターンを生成する ANN の結合構成の基本となる抑制結合ニューロンの概略図を示す。同図は、細胞体部と抑制性シナプス部で構成する抑制性ニューロンの結合系で、図中、Cell₁, Cell₂, Cell₃ は細胞体部を表し、●は抑制性シナプス結合を表す。同図(a)は相互結合した構成で、Cell₁ が興奮状態にあるとき、Cell₁ の出力は Cell₂ を抑制する。同様に Cell₂ の出力は Cell₁ を抑制する。この繰り返しのよって Cell₁ と Cell₂ は交互に出力を発生し、位相のみが反転する逆同期となる。同図(b)は抑制性ニューロンを閉ループ結合した構成で、Cell₁ の出力は Cell₂ を抑制し、Cell₂ の出力、Cell₃ の出力は Cell₁ をそれぞれ抑制する。この繰り返しのよって、閉ループ結合の逆方向である Cell₃, Cell₂, Cell₁ の順で振動するようになり、位相差の制御が可能である。したがって、N 個の細胞体部を抑制性結合で閉ループを組むことにより、各細胞体部の位相差を制御可能である。

図 3 に、今回検討を行った ANN の構成を示す。同図は、四足歩行運動パターンを生成する ANN の概略図である。Cell_{E1}, Cell_{E2}, Cell_{E3}, Cell_{E4}, Cell_{F1}, Cell_{F2}, Cell_{F3}, Cell_{F4} は細胞体部を表し、Cell_{E1}, Cell_{E2}, Cell_{E3}, Cell_{E4} の出力をそれぞれ四足歩行動物の左前肢の伸筋(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

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・教員・子情

させ、Cell_{F1}, Cell_{F2}, Cell_{F3}, Cell_{F4} の出力をそれぞれ四足歩行動物の各肢の屈筋 LF_F, LH_F, RF_F, RH_F に対応させる。また、各細胞体部は、他の全ての細胞体部と相互抑制結合させる。

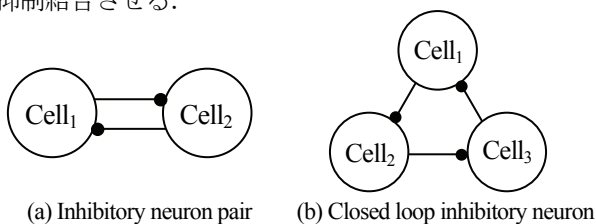


Fig. 2. Coupled inhibitory neuron

図 4 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接地・遊脚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、太線は肢が地面にふれている接地相、細線は肢が地面から離れる遊脚相を示している。今回検討する ANN で同図に示した歩行パターンの生成を行った。

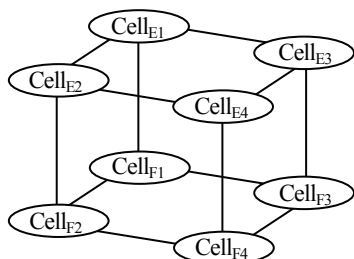
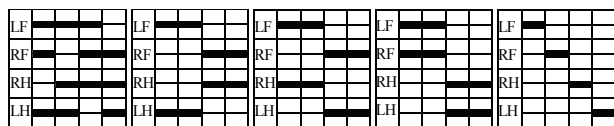


Fig. 3. A construction of ANN



(a) walk (b) pace (c) trot (d) bound (e) gallop

Fig. 4. Stance and swing timing of a quadruped locomotion

図 5 に各歩行パターンを生成する伸筋制御 CPG および屈筋制御 CPG の結合構成の一例を示す。同図(a)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ため、発振順の逆ループ LF, LH, RF, RH の順で抑制性結合する。同図(b)は pace を生成する結合構成で、同様に位相差が 180° である肢間を相互抑制結合する。

図 6 に各歩行パターンを生成する伸筋制御 CPG—屈筋制御 CPG 間の結合構成の一例を示す。同図(a)は walk を生成する結合構成で、図 5 と同様に肢の相対位相差が 180° である細胞体部間を相互抑制結合する。同図(b)は pace を生成する結合構成で、同様に肢の位相差が 180° 細胞体部間を相互抑制結合する。

図 7 に ANN の出力の一例を示す。図中、実線は伸筋制御 CPG の出力を示し、破線は屈筋制御 CPG の出

力を示す。同図において、▼に印すタイミングで ANN の結合構成を walk から pace に切り替えたとき、ANN の出力波形は切り替え直後から walk から pace の歩行パターンに移行が可能であることを示している。

3. まとめ

本論文では、パルス形ハードウェア CPG モデルを基に、実装を考慮し、四足歩行運動の歩行パターンの接地・遊脚タイミングを生成・移行する ANN の回路構成について 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、ANN のシナプス結合荷重制御電圧の制御により、各細胞体部に一定の位相差を持たせ、各歩行パターンの接地・遊脚タイミングの生成・移行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、実際にロボットに本 ANN を搭載し、生体のフィードバックに対応するような入力によって、外乱があっても安定した歩行パターンの生成・移行が可能な ANN 構成の検討を行う予定である。

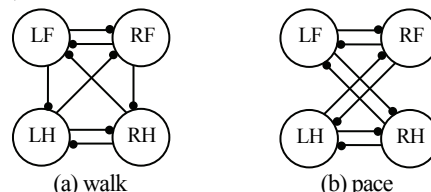


Fig. 5. Construction of extensor CPG and flexor CPG

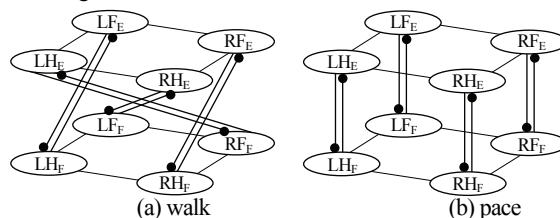


Fig. 6. Construction of connection between extensor CPG and flexor CPG

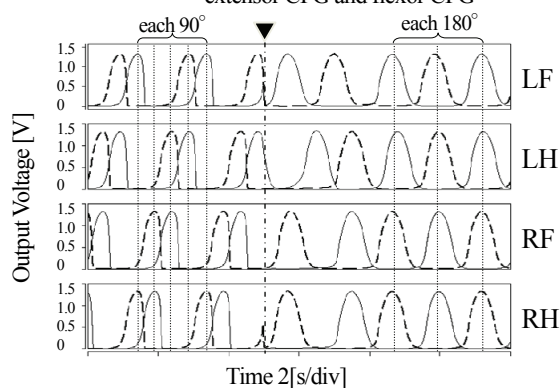


Fig. 7. Output of ANN

4. 参考文献

[1] 福永哲夫：「筋の科学事典」，朝倉書店，2002
 [2] 高草木薫：「歩行の神経機構 Review」，Brain Medical, Vol.19, No.4, pp.307-315, 2007
 [3] 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