

引き込み現象を考慮したCPGモデルによる 四足歩行運動の移行に対する一検討

A Study on Transition of Quadruped Locomotion by CPG model Considering Frequency Entrainment Phenomena

○進藤那彦¹ 佐伯勝敏² 関根好文²

*Tomohiko Shindo¹ Katsutoshi Saeki² Yoshifumi Sekine²

Abstract: It is known that locomotion such as walking by a living organism is generated and transited by CPG (Central Pattern Generator) in the central nervous system. In CPG, generating quadruped locomotion, there is a property to synchronize self-excitation vibration to a signal from the outside called "Frequency Entrainment". In addition, a walking robot is poor for at adapting to disturbance and autonomous adaptation for unpredictable phenomena. Transition of quadruped locomotion pattern is necessary for the control of the CPG model.

In this paper, we study the transition of quadruped locomotion by CPG model considering frequency entrainment phenomena. As a result, it is shown that transition of locomotion patterns are possible by controlling synchronization pattern focusing frequency entrainment of the CPG model.

1. まえがき

生体の基本的な移動運動は中枢神経における CPG により生成制御されていることが知られている^[1]. CPG は上位中枢から持続的な入力を受け、断続的なリズムが生成される^[2]. また、CPG は神経振動子の組み合わせにより構成され、神経振動子には、「引き込み」と呼ばれる外部から与えられた振動的入力信号に自励振動を同調させていく性質がある^[3]. 一方、歩行ロボットは、外乱及び予測していない事象に対する自律的適応に乏しいことから^[4], 搭載する CPG モデルは、歩行速度による歩行パターンの移行を可能にする制御が必要である.

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(以下、P-HCPGM と略す)を用い、引き込み現象を考慮した、同期パターンの制御を行い、歩行パターンの移行について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-HCPGM の構成を示す. 同図(a)は、P-HCPGM の基本回路に用いた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、EI と略す)の概略図である. 同図(b)は、上位中枢からの刺激と外部入力により同期パターンを制御する P-HCPGM の概略図である. 本モデルは、4 つの EI_n(n=1,2,3,4)を用い、各 EI の抑制性細胞体部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. EI₁~EI₄ の出力をそれぞれ四肢動物の左前肢(LF), 右前肢(RF), 右後肢(RH),

左後肢(LH)の動きに対応させた. また、各 EI に入力する上位中枢からの刺激 u_n (n=1,2,3,4)を興奮性シナプスで受ける外部入力に対応させ、伸筋からのフィードバック信号 F_n (n=1,2,3,4)を抑制性シナプスで受ける外部入力に対応させた. また、同図の CPG モデルは、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンを相互に結合した神経振動子の結合系からなり、これらを 4 つ相互に結合しているため、N=4 の N 相同期を得ることができる.

図 2 に四肢動物の代表的な歩行パターンの各肢間の相対位相差を示す. CPG は、上位中枢からの持続的な

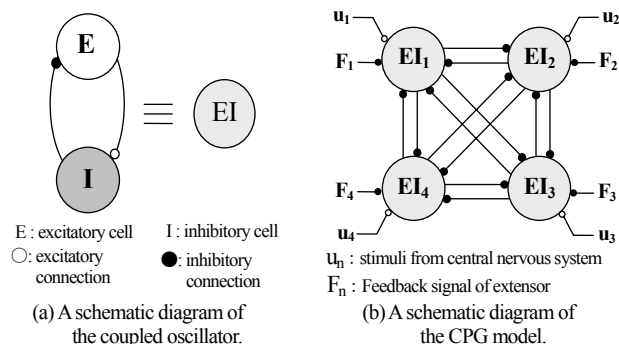


Fig 1. A construction of the pulse-type hardware CPG model.

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

Fig 2. Relative phase difference of a quadruped locomotion patterns with a typical example.

力を増大させることで歩行速度を上げ、歩行を移行し、各パターンは各肢間の相対位相差によって定義される^{[2][5][6]}。不整地歩行では、路面の凸凹に対応する必要があり、移行に加え、歩行の支持脚期において、推進力を補助し、体重を支えるための筋張力を、肢を伸ばす際に使われる伸筋に付加する^[6]伸張反射が有効であると考えた。伸張反射は接触感覚に基づいて、支持脚の伸筋を収縮させるため^{[6][7]}、伸筋からの $F_n(n=1,2,3,4)$ を、抑制性シナプスを介して任意の EI に与える。図 2 より、四肢動物の代表的な歩行パターンは、2 相同期と 4 相同期からなり、2 相同期は、pace,trot,bound の 3 パターン、4 相同期は walk,gallop の 2 パターンである。

図 3 に、移行の一例として、walk から pace への移行の概略図を示す。同図は、上から E_1, E_2, E_3, E_4 の出力とし、灰色のパルスが移行前の walk、黒色のパルスが移行後の pace を示している。図 2 より、walk から pace への移行では 4 相同期から 2 相同期へ移行する必要があり、図 3 の ← で示すように、LF・RF の 2 肢を $1/2T(90^\circ)$ ずらすことで移行が可能である。2 肢を $1/2T$ ずらすため、興奮性シナプスを介して外部入力を印加し、CPG モデルに引き込ませることで、4 相同期から 2 相同期への移行が可能になると考えた。

図 4 に、一例として、walk~pace 移行時の CPG モデルの出力を示し、図 5 は CPG モデルが walk を生成している時、伸筋によるフィードバック信号 F_1 があった際の CPG モデルの出力を示す。図 4,5 の横軸は時間、縦軸は各 EI の出力、 u_n の出力及び F_1 の電圧を示し、上から E_1, E_2, E_3, E_4 の出力波形を示しており、黒色実線が CPG モデルの出力、黒色破線が u_n 、灰色破線が F_1 を示している。図 4 は、CPG モデルが walk を形成している場合に、↓で示したタイミングで u_n の周波数・電圧を増加し、左前肢・右前肢の 2 肢の電圧・周波数を $1/2T$ ずらすことで walk から pace への移行が可能であることを示している。

図 5 は、walk 生成時に、伸張反射が生じた場合を考慮し、 F_1 を印加した際に、 u_n を引き込むことで歩行を維持している事を示している。

以上より、今回検討に用いた P-HCPGM は、上位中枢からの刺激とした外部入力を引き込むことで、同期パターンを制御し、歩行パターンの移行が可能モデルであることを示している。

3. まとめ

本論文では、P-HCPGM を用い、引き込みの特徴に注目し、上位中枢からの刺激とした外部入力により、

同期パターンの制御を行うことで、歩行の移行について検討を行った。その結果、P-HCPGM への上位中枢からの刺激とした外部入力により、同期パターンの制御を行うことで歩行パターンの移行が可能であることを明らかにした。

今後は、屈曲反射に対応する検討を行う予定である。

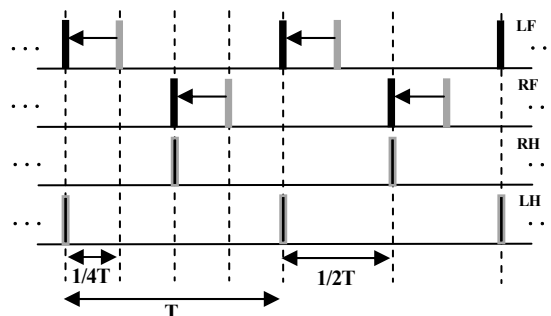


Fig 3. Schematic diagram of transited locomotion pattern. (walk~pace)

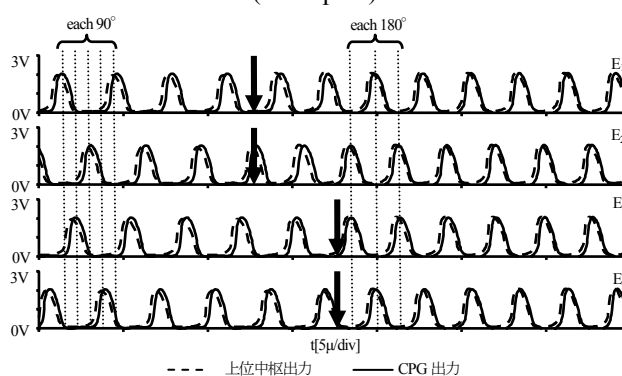


Fig 4. Transited locomotion pattern. (walk~pace)

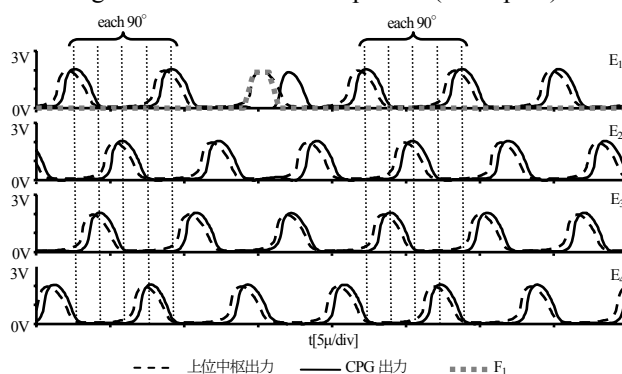


Fig 5. Continuation locomotion pattern. (walk)

4. 参考文献

- [1] 甘利俊一, 外山敬介: 「脳科学大事典」, 朝倉書店, 2000.
- [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] 宮腰清一, 多賀殿太郎, 國吉康夫: [「神経振動子のパラメータ自動調整機構」, ロボティクスシンポジウム, pp.301-306, 2000.
- [4] 福岡泰宏, 木村浩: 「四足ロボットの生物規範型不整地適応歩行-神経-機会カップリング系構成法の提案とピッチ運動・CPG・ロール運動間相互引き込みの評価」, 日本ロボット学会誌, 21-5, pp.569-580, 2003.7.
- [5] Mark L. Latash, 笠井達哉, 道免和久: 「運動神経学講義」, 大修館書店, 2002.
- [6] 福永哲夫: 「筋の科学事典」, 朝倉書店, 2002.
- [7] 福岡泰宏, 木村浩: 「生物規範型適応制御による四足ロボットの不整地歩行」, 第 26 回知能システムシンポジウム資料, pp23-238, 1999.