

歩行周期の変化が可能なパルス形ハードウェアニューラルネットワークによる 2足歩行制御用CPG回路の開発

Development of CPG Circuit for Bipedal Walking Control Using Pulse-Type Hardware Neural Networks Capable of Changing Walking Cycle

○後藤達巳¹, 武田健嗣², 石橋元邦³, 石濱拓実³, 山崎健太郎¹, 栗飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 内木場文男⁴
*Tatsumi Goto¹, Kenji Takeda², Motokuni Ishibashi³, Takumi Ishihama³, Kentaro Yamazaki¹,
Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: The mainstream of biped robot control is digital control, but real-time gait generation is difficult due to the delay in numerical computation. On the other hand, human gait is generated by a central pattern generator (CPG) localized in the spinal cord and controlled without numerical computation. We have previously mimicked CPGs with pulse-type hardware neural networks. In this paper, we report the development of a CPG circuit for bipedal walking control in which the fixed walking cycle is varied between walking and running, and the speed can be varied.

1. はじめに

2足歩行ロボット制御の主流はCPUを用いたデジタル制御であり, 脚や腕などの動きを数値計算によって制御している. しかし, 複雑な制御を必要とするため, 計算処理が膨大になり消費電力が大きくなる. また, 数値計算による複雑な制御は遅延が発生するため, リアルタイムな歩行運動の生成が難しい.

一方, 人間は神経細胞で構成される神経回路網で数値計算によらず情報を処理している. 特に基本的な運動は, 脊髄に局在する中枢パターン生成器(Central Pattern Generator:CPG)で生成される. CPGは, 基本的な脚のリズムを生成するリズム生成部(Rhythm Genetator:RG)と, 筋活動パターンを形成するパターン形成部(Pattern Formation:PF)の2層構造と考えられている^[1]. 実際の人間の歩行運動では5つの信号がCPGによって順序良く生成され, それらが各筋に分配されることで制御されることが示された^[2]. Figure1に歩行と走行のパターンを示す. 歩行と走行では, 5つの信号の内2つ目の信号の位置が変化することが示された^[2]. 人間のCPGを模倣することで, 数値計算によらず2足歩行ロボット制御が可能であると考えられる.

このCPGのような神経回路を工学的に模倣する人工ニューラルネットワークが研究されている. 神経回路網は複雑なため, ネットワークの構成が容易に変更可能なソフトウェアが主に用いられる. しかし, 非線形性が高いと計算量が膨大になるため, リアルタイムな運動生成は困難である. 一方, アナログ電子回路によるハードウェアで神経機構を模倣するアプローチが

ある. 回路定数を容易に変えられず簡便性に欠けるが, 高速処理と集積化が可能である. よって, リアルタイムな運動生成と, IC化によって低消費電力で動作可能であることから, 2足歩行ロボット制御に適していると考えられる. 我々は, 関根らが提案したパルス型ハードウェアニューロンモデル(P-HNM)に着目した.^[3] P-HNMはシナプスモデルと組み合わせることでパルス型ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)を形成し, 様々なパルス信号を生成可能になる. 我々はP-HNNsを用いて, 歩行周期を固定した歩行運動の5つの信号パターンの出力と, 歩行と走行の切り替えが可能なCPG回路の開発を行ってきた.

本論文では, 固定していた歩行周期を歩行と走行で変化させ, 歩行運動の速度を変化可能なP-HNNsによる2足歩行制御用CPG回路の開発を目的とする.

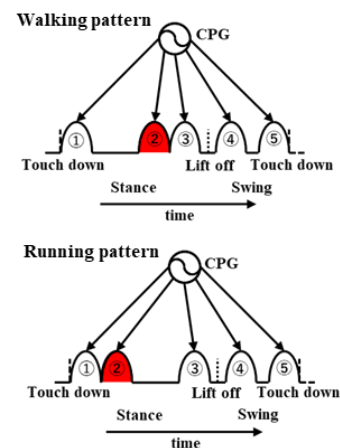


Figure1. walking pattern and running pattern

2. 周期変化が可能な CPG モデルの構成

Figure2 に今回用いた細胞体モデルと抑制性シナプスモデルを示す. 細胞体モデルの各回路定数は, $R_1=R_2=20k$, $R_L=6.8k\Omega$, $C_G=C_M=0.15\mu F$, M_1 : SSM3K17FU, M_2 : BSH203 とした. 抑制性シナプスモデル, 興奮性シナプスモデルの各回路定数は, $M_{IS1}=M_{IS4}=M_{IS5}=M_{ES1}$: SSM3K17FU, $M_{IS2}=M_{IS3}=M_{ES2}=M_{ES3}$: BSH203 とした.

Figure3 に構成した CPG モデルを示す. CPG モデルの基本回路部は 6 個の細胞体と 30 個の抑制性シナプスモデルを相互抑制接続した. これにより, いずれか 1 つの細胞体が発火している間, 他の 5 つの細胞体が抑制される. また, 6 つの細胞体の発火の順番は, スイッチによって GND に落とすことで決定した. 歩行と走行については, C2 と C3 の細胞体を興奮性シナプスモデルで取り出し, 歩行パターンでは C3' の興奮性シナプスモデルに, 走行パターンでは C2' の興奮性シナプスモデルに電圧を入力することで歩行パターンと走行パターンを切り替えた. 歩行周期は細胞体モデルの R_G の抵抗値を変えることで変化させた.

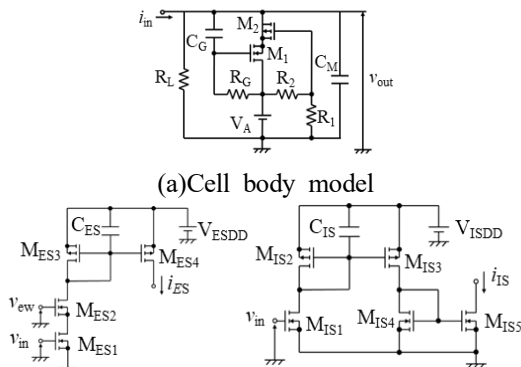


Figure2. Cell body model and synaptic model

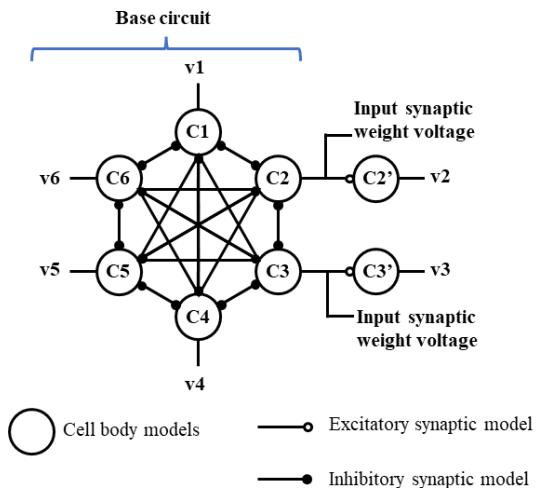


Figure3. CPG model

3. CPG 回路の測定結果

Figure4 に表面実装で構成した CPG 回路の測定結果を示す. 歩行パターンでは, 細胞体モデルを $R_G=1.22M\Omega$ とし, パルス幅が 0.17s, 周期が 1.04s となった. また走行パターンでは, 細胞体モデルを $R_G=832k\Omega$ とし, パルス幅が 0.12s, 周期が 0.71s となった.

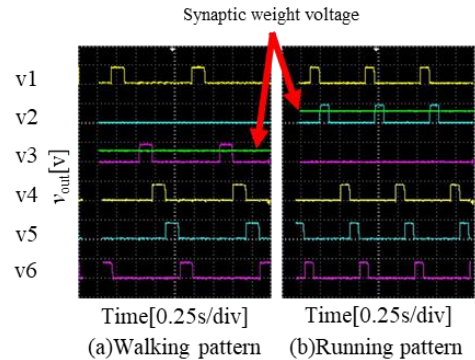


Figure4. Result of walking pattern and running pattern

4. まとめ

本論文では, 歩行周期の変化させること歩行運動の速度を変化可能な P-HNNs による 2 足歩行制御用 CPG 回路を目的とした. その結果, 細胞体モデルの R_G を変化させることで歩行周期が変化する CPG 回路を作製できた.

今後は開発した CPG 回路の IC 化を行う予定である.

5. 謝辞

本研究は日本大学理工学部マイクロ機能デバイス研究センターの協力で行った. ここに深く感謝の意を表す.

6. 参考文献

[1] Ilya A. Rybak, Natalia A. Shevtsova, Myriam Lafreniere-Roula and David A. McCrea, "Modelling spinal circuitry involved in locomotor pattern generation: insights from deletions during fictive locomotion," J.Physiol., Vol.577, No.Pt2, pp.617-639, 2006
 [2] G. Cappellini, Y. P. Ivanenko, R. E. Poppele, and F. Lacquaniti, "Motor patterns in human walking and Running," J. Neurophysiol., Vol.95, No.6, pp3426-3437, 2006
 [3] 関根好文, 隅山正巳, 佐伯勝敏, 合原一幸: 「エンハンスメント型 MOSFET による Λ 形ニューロンモデル」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-C, No.10, pp.988-994, 2001