

M-20

歩容パターンを生成する人型筋骨格ロボットの両脚制御用ハードウェア CPG モデルの開発

Development of Hardware CPG Model for Controlling Both Legs of Musculoskeletal Humanoid Robot Generating Gait Patterns

○後藤達巳¹, 石濱拓実¹, 山崎健太郎¹, 岡本莉菜², 國分優剛², 金子美泉³, 内木場文男³

*Tatsumi Goto¹, Takumi Ishihama¹, Kentaro Yamazaki¹, Rina Okamoto², Yugo Kokubun², Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³

Abstract: Biped robots are mainly controlled by CPUs, but the problem is the overloading of the on-board battery due to the enormous amount of numerical calculations. In response to this problem, an approach to control locomotion with low energy by imitating humans has been proposed. We have imitated the central pattern generator (CPG) of the neural network involved in human motor control using an artificial neural network with analog electronic circuits. In this paper, we developed hardware CPG models for controlling a musculoskeletal humanoid robot capable of generating gait patterns for both legs. Circuit simulations of the configured hardware CPG model were performed to confirm the walking and running patterns.

1. はじめに

人間を模倣した2足歩行ロボットは労働力の代替えとして想像しやすいことや人間との協調やパートナーとしてなじみやすいことから、重要な研究分野と言える。

従来の2足歩行ロボットは、主にCPUを用いた数値計算で制御する。しかし、リアルタイムに運動を制御するには膨大な数値計算を高速処理するため、消費電力が大きい高性能なCPUが必要となる。従って、搭載電池に対する過負荷が問題となる。これに対し、人間は基礎代謝の計算より100W程の低エネルギーで活動するため、人間の運動制御を模倣する考え方がある。

この考え方に基づき、人間の運動制御に関わる神経回路網をソフトウェアで模倣した、人工ニューラルネットワークによる2足歩行ロボット制御がある^[1]。この研究では、人間の脊髄に局在する中枢パターン生成器(CPG)と呼ばれる基本的な運動パターンを生成する神経回路網を模倣している。しかし、ソフトウェアによる大規模な神経回路網を模倣するには膨大な数値計算が必要となる。

そこで我々は、ハードウェアによる人工ニューラルネットワークに着目した^[2]。ハードウェアでは、アナログ電子回路で構成することで数値計算によらずに神経回路網を模倣できる。我々はハードウェアでCPGを模倣し、人間の筋や骨格を模倣した人型筋骨格ロボットの片脚制御用ハードウェア CPG モデルを開発した^[3]。しかし、人型筋骨格ロボットに搭載するには両脚に着目したハードウェア CPG モデルが必要となる。

以上より本論文では、上位中枢に見立てた入力により両脚の歩容パターンを生成する人型筋骨格ロボット制御用ハードウェア CPG モデルの開発を目的とする。

構成したハードウェア CPG モデルの回路シミュレーションを行い、歩容パターンの生成を確認した。

2. 人間の運動制御

人間の運動は、主に脳幹と脊髄で制御される。上位中枢指令が脳幹の中脳歩行誘発野(MLR)に入力されると、網様体脊髄路を介してCPGが動作し運動パターンを生成する。また、歩容の誘発や切り替え、速度はMLRの入力で変化する。

Figure 1 に歩容パターンを示す。人間の歩容に着目すると、筋活動の解析からCPGが歩行と走行でそれぞれ5つのパターンを生成するモデルが提案されている^[4]。このモデルでは、歩行は走行と比べて5つの配列の内2つ目の位置が遅れることが示されている。また、両脚では5つの配列が左右の脚で半周期ずれることが示されている。本研究では、これらの生理学的なモデルに基づきハードウェア CPG モデルを構成した。

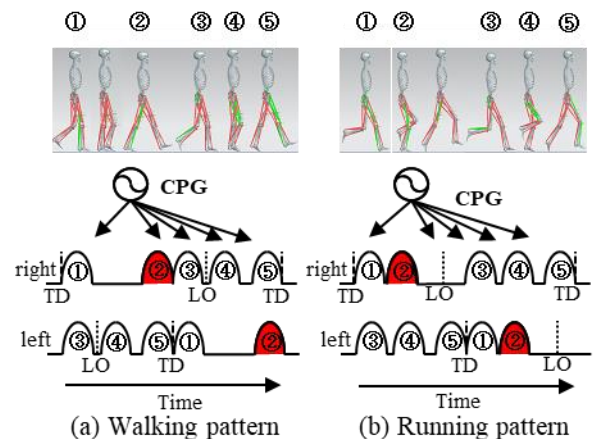


Figure 1. Gait patterns

1 : 日大理工・院 (前)・精機 2 : 日大理工・学部・精機 3 : 日大理工・教員・精機

3. ハードウェア CPG モデルの基本的な構成要素

Figure 2 にハードウェア CPG モデルの基本的な構成要素を示す。細胞体モデルは非同期発振回路で構成し、神経細胞のようなパルス信号を生成する。興奮性シナプスモデルは積和回路で構成し、細胞体モデルのパルス信号を促進する特徴を持つ。抑制性シナプスモデルは興奮性シナプスモデルと同様に積和回路で構成し、細胞体モデルのパルス信号を抑制する特徴を持つ。

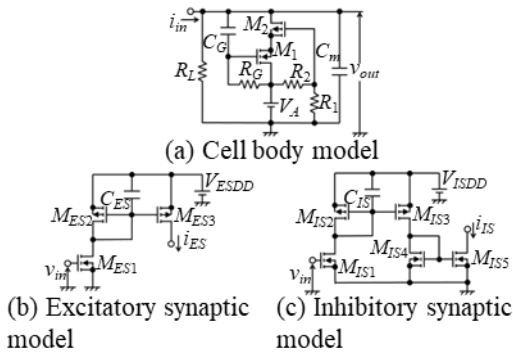


Figure 2. Basic components of the hardware CPG model

4. 提案するハードウェア CPG モデル

Figure 3 に提案するハードウェア CPG モデルを示す。リズム生成部、発火順序部、歩行・走行指令部で構成する。リズム生成部では、左右でそれぞれ 5 つのパルス配列を生成する。発火順序部では、リズム生成部の 5 つのパルス配列を左右で半周期ずれるように順序良く生成させる。歩行・走行司令部は上位中枢に見立てた WCC と RCC の入力により、歩容パターンを生成させる。

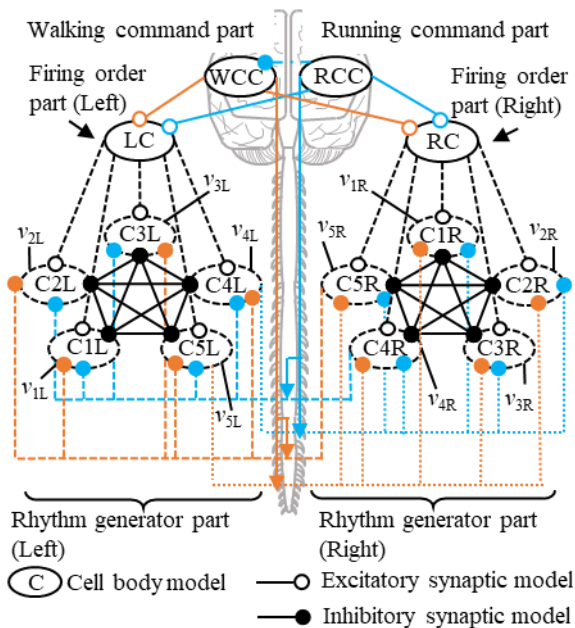


Figure 3. Proposed hardware CPG model

5. シミュレーション結果

Figure 4 に回路シミュレーションの結果を示す。歩行と走行で両脚の歩容パターンの生成を確認した。また、パルス周期が歩行では約 1.1s, 走行では約 0.7s となり、歩容に応じてパルス周期が変化することを確認した。

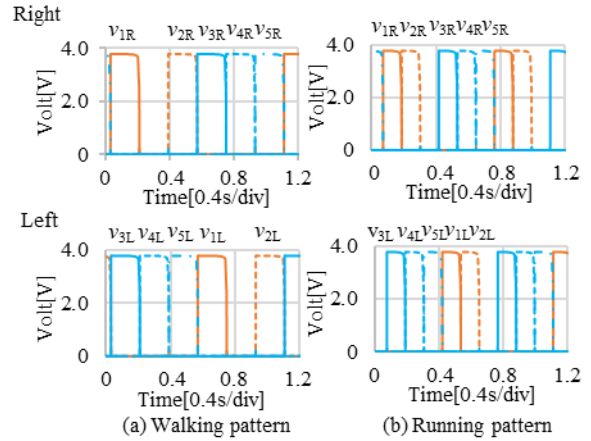


Figure 4. Circuit Simulation Results

6. まとめ

本研究では、上位中枢に見立てた入力により両脚の歩容パターンを生成する人型筋骨格ロボット制御用ハードウェア CPG モデルを開発した。構成したハードウェア CPG モデルの回路シミュレーションを行い、両脚の歩容パターンが生成されることを確認した。

7. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K04016, 日本大学特別研究の一部助成を受けた。ここに深く感謝の意を表する。

8. 参考文献

[1] C. Yao, C. Liu, L. Xia, M. Liu, and Q. Chen : “Humanoid adaptive locomotion control through a bioinspired CPG-based controller”, *Robotica*, Vol.40, No.3, pp762-779, 2022.
 [2] 関根, 隅山, 佐伯, 合原 : 「エンハンスメント型 MOSFET による Δ 形ニューロンモデル」, *電子情報通信学会論文誌 C*, Vol.J84-C, No.10, pp.988-994, 2001.
 [3] F.Uchikoba, K.Takeda, M.Ishibashi, T.Goto, S.Lyu, M.Kaneko : “Spinal Cord Like Artificial Neural Networks and Application to Robots”, *IEEE Xplore*, 2023.
 [4] Y. P. Ivanenko, G. Cappellini, R. E. Poppele, and F. Lacquaniti : “Spatiotemporal organization of α -motoneuron activity in the human spinal cord during different gaits and gait transitions”, *European Journal of Neuroscience*, Vol.27, No.12, pp3351-3368, 2008.