

感覚情報・上位中枢入力で歩容が切り替わる 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

Development of Hardware CPG Model for Controlling Musculoskeletal Humanoid Robots with Gait Switching by Sensory Information and Higher Center Inputs

○岡本莉菜¹, 石濱拓実², 後藤達巳², 山崎健太郎², 國分優剛¹, 金子美泉³, 内木場文男³
Rina Okamoto¹, Takumi Ishihama², Tatsumi Goto², Kentaro Yamazaki², Yugo Kokubun¹, Minami Kaneko³, Fumio Uchikoba³

Biped robots are mostly controlled digitally using CPUs, but there are concerns about overloading the on-board batteries due to the enormous amount of numerical calculations. On the other hand, humans can be active with only about 100W in terms of electricity, which leads to the idea of mimicking locomotion control. In this paper, we focus on gait control of the central pattern generator (CPG) of the spinal cord and develop a hardware CPG model for controlling a musculoskeletal humanoid robot that switches gait based on sensory information and higher center input using a hardware artificial neural network.

1. はじめに

2足歩行ロボットはロボットの中でも労働力の代替、人間のパートナーとしての用途で活躍できるという点で想像しやすく、研究・開発対象として重要といえる。

従来の2足歩行ロボットはCPUを用いたデジタル制御が主流だが、運動制御に膨大な数値計算が必要となる。そのため、リアルタイムに運動を制御するには、消費電力が大きい高性能なCPUが必要となり、搭載電池の過負荷が懸念されている。それに対し人間は電力換算すると100W程度のエネルギーで活動できることから、人間の運動制御を模倣する考え方がある。

この考え方にもとづき、人間の運動制御に関わる神経回路網を工学的に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]。この研究では人間が歩行などの運動パターンを生成している、脊髄に局在する中枢パターン生成器(CPG)^[2]と呼ばれる神経回路網に着目している。ソフトウェアで人間の神経細胞やシナプスをモデル化し、それらを組み合わせた人工ニューラルネットワークでCPGを模倣することで、2足歩行ロボットを制御している。このようなソフトウェアによる人工ニューラルネットワークは、パラメータを容易に変更することができるが、大規模なネットワークにおいて非線形な信号を処理するには膨大な数値計算が必要となる。

対してハードウェアによる人工ニューラルネットワークがある。ハードウェアではアナログ電子回路による高速処理と数値計算によらない信号処理ができる。したがって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でCPGを模倣した。ハードウェアによる人工ニューラルネットワークとして提案されているパ

ルス型ハードウェアニューラルネットワーク (P-HNNs)^[3]を用いて、人型筋骨格ロボットの片脚制御用ハードウェア CPG モデルを提案した。しかし実際にロボットを動かすには両脚と感覚情報による制御が必要となる。以上より本研究では感覚情報・上位中枢入力で歩容が切り替わる人型筋骨格ロボット制御用ハードウェア CPG モデルを提案し、構成したモデルの回路シミュレーションを行った。

2. 人間の歩容制御

Figure 1 に歩容のパルスパターンを示す。人間の歩容は主に脳幹と脊髄で制御され、脊髄に局在する CPG は上位中枢とは独立して、歩容のパルスパターンを生成する。また、筋活動の解析から CPG が1周期で5つのパルスパターンを生成するモデルが提案されている^[2]。1周期分の5つのパルスパターンは、1パルスごとに歩容を誘引する一連の筋に入力されることで収縮する。歩行と走行では1周期の時間が変化することで速度の調整が行われ、1周期分の5つの時系列パルスパターン内の、2つ目のパルスの発生位置が変化することで歩行と走行が切り替わることも示唆された。

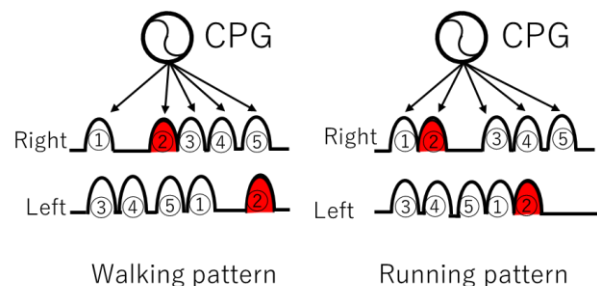


Figure 1. Pulse pattern of gait

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

上位中枢のほかにも外部からの感覚情報により歩行が誘発される。歩容における筋紡錘からの感覚情報の貢献は大きく、筋の長さや張力の変化を感じし上位中枢に情報を伝達し運動制御のための有用な情報として活用される^[2]。

3. CPGモデルの構成

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神経細胞のパルス信号を模倣している。興奮性・抑制性シナプスモデルは積和回路でシナプスによる情報の受け渡しを模倣している。

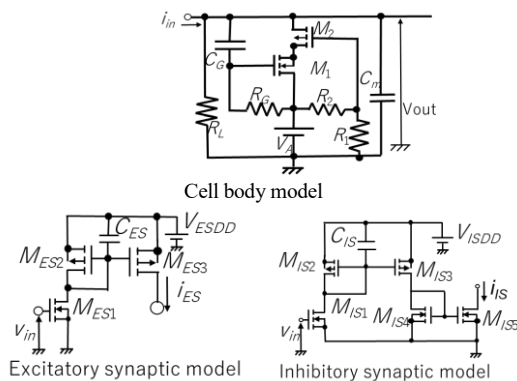


Figure 2. Cell body model and synaptic model

Figure 3 にハードウェア CPG モデルを示す。リズム生成部では左右で 6 つのパルス配列を生成し、発火順序部ではリズム生成部の 6 つのパルス配列を左右で半周期ずれるように順序を調整させる。リズム生成部の 6 つのパルス配列のうち 2 と 3 つめをパターン調整部で入れ替えることにより歩行・走行を入れ替えている。

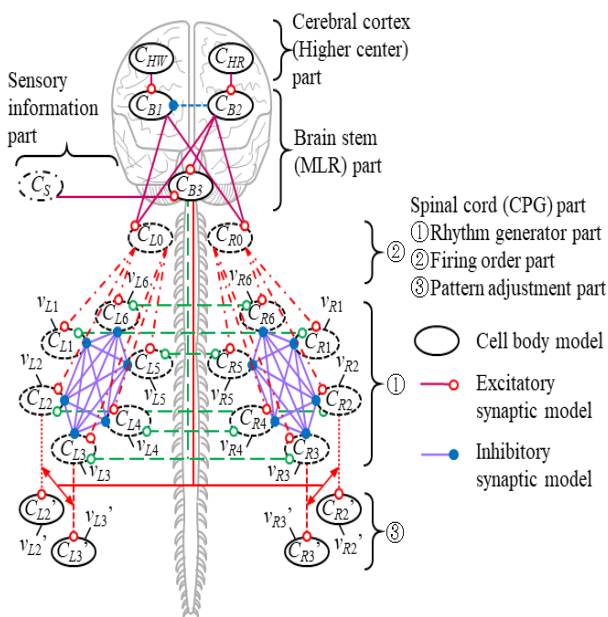


Figure 3. Hardware CPG model

4. シミュレーション結果

Figure 4 に上位中枢入力による歩容パターンのシミュレーション結果を示す。歩行パターンでは周期が約 1.1s 走行では約 0.7s となり、上位中枢の入力により両脚の歩容が切り替わることを確認した。また感覚情報の入力でも同様に歩容が切り替わることを確認した。

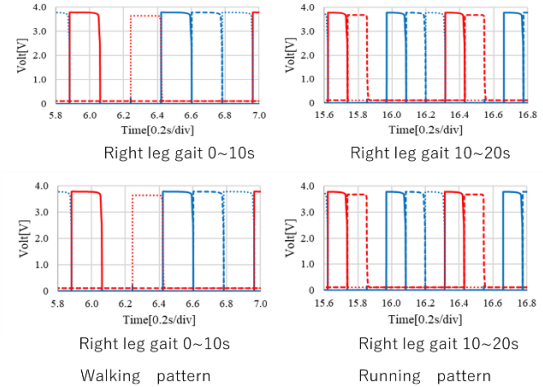


Figure 4. Simulation results of gait pattern with higher center input

5. まとめ

本論文では感覚情報・上位中枢入力で歩容が切り替わる人型筋骨格ロボット制御用ハードウェア CPG モデルを提案した。シミュレーションから感覚情報、上位中枢両方で両脚のパルスパターンが生成され、歩容が切り替わることを確認した。また、歩行と走行のパルス周期が変化することを確認した。

6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K0416 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。

7. 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] 河島則天 : 「歩行運動における脊髄神経回路の役割」, *国リハ研紀*, No.30, pp.9-14, 2010
- [3] 関根好文 : 「カオス発生可能なパルス型ニューロンの CMOS 実装とその応用」*日本神経回路学会誌*, Vol.15, No.1, pp.27-38, 2008.
- [4] Y. P. Ivanenko, G. Cappellini, R. E. Poppele, F. Lacquaniti : “Spatiotemporal organization of α -motoneuron activity in the human spinal cord during different gaits and gait transitions”, *European journal*, Vol.27, No.12, pp3351-3368, 2008.