

M-17

歩行と走行の切り替えを目的とした2足歩行制御用ハードウェアニューラルネットワーク IC の開発

Development of Hardware Neutral Network IC for Bipedal Gait to Switch Between Walking and Running.

○石濱拓実¹, 武田健嗣², 石橋元邦¹, 後藤達巳³, 山崎 健太郎³, 栗飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 内木場文男⁴
Takumi Ishihama¹, Kenji Takeda², Motokuni Ishibashi¹, Tatsumi Goto³, Kentaro Yamazaki³,
Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: The gait of a biped robot is controlled by numerical calculations, but the enormous amount of processing increases power consumption. On the other hand, human gait is controlled by central pattern generators (CPGs) in the spinal cord, with low energy consumption and without reliance on computational processing. We have proposed a hardware CPG model for bipedal walking control and developed a CPG circuit that generates control signals for walking and running. In this paper, we report on the development of an IC version of the CPG model, and the generation and switching of the signals were confirmed by simulation.

1. はじめに

2足歩行ロボットの制御は主に、CPUとソフトウェアの組み合わせから情報を統括し、数値計算にて処理を行っている。しかしながら、2足歩行を制御するには数多くのセンサから情報を得て動作を作り出す必要があり、それらの情報を処理するために多くの電力を必要とする。なかでも、歩行時制御には自重を安定化させるために情報のフィードバックが欠かせず、演算も複雑になるため出力までに遅延が伴い、運動制御において人間と同等の反応速度を持たせることは難しい。

一方、生物の運動制御は神経細胞で構成される神経回路網 (Neural Network) で制御をおこなっている。特に脊髄に局所する中枢パターン生成器 (Central Pattern Generator: CPG) は一定の運動パターンを出力し情報処理を分担することで、計算処理に依らずに基本的な運動を制御している。Ivanenkoらは、人間の歩行に寄与する下肢の筋電位を解析し、通常歩行では5つのパターンの組み合わせによって再構成が可能であると示した。また、歩行・走行時には2番目の信号の位置に明確な違いがあり、CPGによって運動を制御が可能であることも示唆している^[1]。

この生物がもつ柔軟で優れた情報処理機能である神経回路網をモデル化し、工学的に作製した人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Networks: ANNs) をロボットの制御方法として応用する研究が進められている。神経機構の工学的模倣には、ソフトウェアとハードウェアのアプローチが存在する。主にソフトウェアニューロンモデルが主流であり、ネットワーク構造を容易に変更できることが利点として挙げられる。反面、リアルタイムの応答を実現するためには大規模なCPU

や大容量のバッテリーを使用する必要がある。また、ネットワークの規模に比例して数値計算の処理時間が増加するため、規模が大きくなるほどリアルタイムでの応答は困難となる。一方で、ハードウェアニューロンモデルは回路定数としてパラメータを組み込むため、ネットワーク構造の変更が困難であるが、ネットワーク規模による処理時間や消費電力に対する影響が小さくなる。

我々はこれまでに、パルス形ハードウェアニューラルネットワーク (Pulse-type hardware neural networks: P-HNNs) を用いて2足歩行制御用CPGモデルを提案したが、集積回路 (IC) 化までには至らなかった。

本論文では、2足歩行制御用ハードウェアCPGモデルの集積化を検討し、ICチップのレイアウト設計とシミュレーションにより歩行と走行パターンの出力を確認したので報告する。

2. CPGモデル

Figure.1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、 $C_G=4.7[\mu\text{F}]$, $C_M=1.0[\mu\text{F}]$, $W/L:M_{C1}\cdot M_{C2}=10$, $M_{C3}=0.1$, $M_{C4}=0.3$, 電源電圧 $V_A=3.0[\text{V}]$ とした。興奮性シナプスモデルの各回路定数は、 $C_{ES}=0.1[\text{p}]$, $W/L:M_{ES1}=3/20$, $M_{ES2}=M_{ES3}=1$, $M_{ES4}=0.3$ とした。抑制性シナプスモデルの各回路定数は $C_{SI}=0.1[\text{p}]$, $W/L:M_{IS1}=M_{IS4}=M_{IS5}=0.2$, $M_{IS2}=M_{IS3}=1$ とした。

1: 日大理工・院 (前)・精機 2: 日大理工・院 (後)・精機 3: 日本理工・学部・精機 4: 日大理工・教員・精機

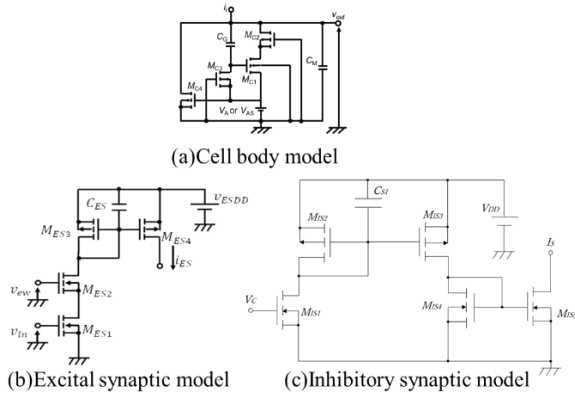


Figure 1. Cell body model and synaptic model

Ivanenko らは、CPG が発生させる 5 つの基本パターンが、歩行に寄与する各筋の筋活動のトリガになる制御様式を提案した。これに基づき Figure.1 のモデルを用いて、Figure.2 のように興奮性シナプスを用いて外部からの電源電圧により導通状態を変化させることで、信号の位置を歩行時・走行時の波形パターンへと制御を行う CPG モデルを構成した。

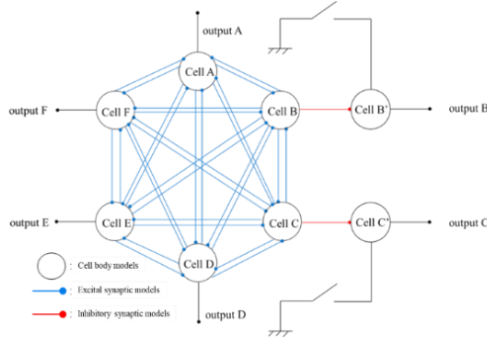


Figure 2. CPG model

3. CPG モデルの IC 化

Figure3 に Figure2 で示した CPG モデルの IC 化した設計図を示す。また、Figure4, 5 に CPG モデルの歩行時・走行時の波形パターンを示す。外部の電源電圧を変化させ、歩行時・走行時の波形パターンを確認した。

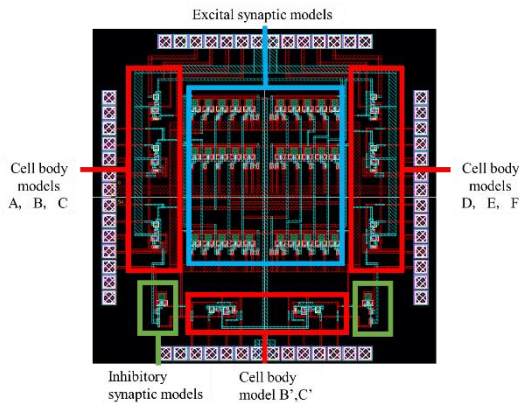


Figure 3. Layout CPG model

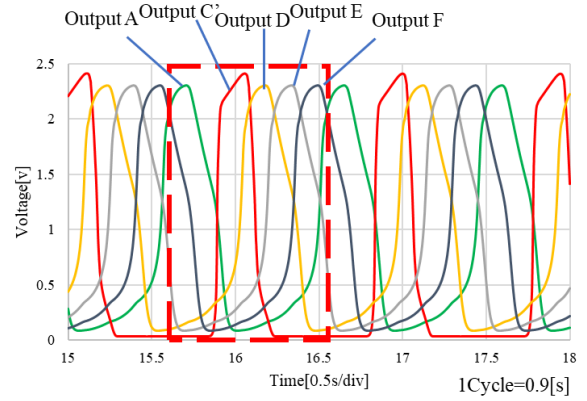


Figure 4. Walking pattern

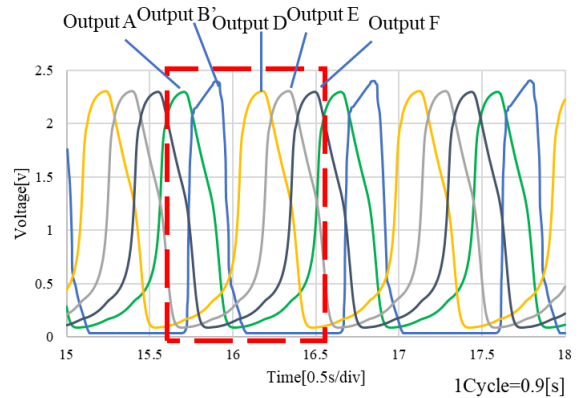


Figure5. running pattern

4. まとめ

本論文では、興奮性シナプスを用いて出力を制御し、歩行と走行を切り替える CPG モデルの IC を開発した。また、シミュレーションにて歩行・走行のパターン切り替えを行うことができた。

今後は開発した CPG 回路の IC から得られた結果からより複雑な動作を可能とする回路を目指す。

5. 謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センター (VDEC) を通し、シノプシス株式会社、日本ケイデンス株式会社、メンター株式会社の協力で行った。また、本チップ試作は VDEC を通しオンセミコンダクター新潟(株)、凸版印刷(株)の協力で行った。また、本研究は日本大学ロボティクスソサエティ (NUROS) の助成を受けた。ここに深く感謝の意を表す。

6. 参考文献

[1] Y. P. Ivanenko, R. E. Poppele, F. Lacquaniti: "Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion", *Jphysiol*, Vol.556, No.1, pp267-282, 2004