

ミラー容量を用いた CPG モデルの実装面積に対する一検討
 A Study on Mounting Area of CPG Model Using Miller Multiplications

○伊藤 大輝¹, 佐々木芳樹², 佐伯勝敏²

*Daiki Ito¹, Yoshiki Sasaki², Katsutoshi Sacki²

Abstract: CPG(Central Pattern Generator) in the spinal cord generates and controls rhythmic patterns such as walking, flying, and swimming of animals. The function of CPG has been applied to robots.

In this paper, we investigate mounting area of a CPG model using Miller multiplications for the purpose of robot walking control. As a result, it is clarify that mounting area of a CPG model can be reduced by increasing number of resistors in circuits with Miller multiplications to about 1.9 times that of capacitors.

1. まえがき

現在、動物が歩容を遷移させる原理は明確には解明されていないが、ネコなどの4足哺乳類は脳が無くとも歩容を遷移させることが可能であることが報告されている^[1]。脊髄に内在する中枢パターン発生器(Central Pattern Generator: CPG)と呼ばれる脊髄介在ニューロン群は、上位中枢と脊髄運動ニューロンの間に位置し、歩行の基本的なリズムを生成するとともに歩行に参画する筋群の運動パターンを決定する役割を持つと考えられている。近年、このようなCPGの振る舞いをロボティクスにおける歩行運動の制御に応用した研究が進展している^[2]。

生体において、運動ニューロンに加えられる刺激はバースト発火により行われており、運動ニューロンへの入力刺激を生成するCPGにおいても同様にバースト発火を用いることが有効と考えられる。また、4足歩行動物の歩行を模したロボットの歩行制御に適した低周波数かつ小面積で動作するモデルが必要である。

本研究では、4足ロボットの歩行制御を目的として、ミラー容量を用いたCPGモデルの実装面積について検討を行った。

2. 本論

2.1 介在細胞集団モデル

図1にバーストニューロンモデルの回路構成を示す。生体の細胞体の発火現象を定性的に再現した細胞体モデルは、電源電圧Vddを変更することにより、自律的に発振する自励振モデルと、外部からの電流供給により発振する他励振モデルの2モデルを相互に変更することが可能である。パルス波の周期は、図中の積分回路内CおよびMn6で設計した時定数により決定づけられる。シナプスモデルは、興奮性と

抑制性の2種類を用いている。

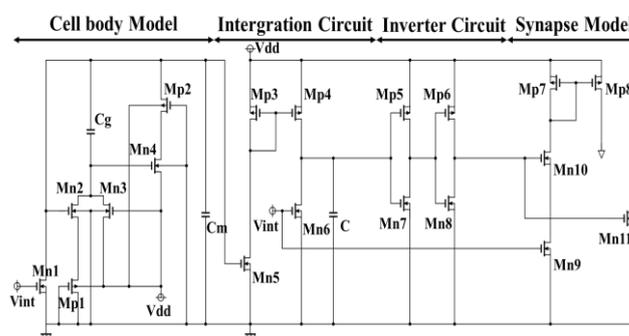


図1 バーストニューロンモデル

図2にバースト発火現象を示す介在細胞集団モデルの構成図を示す。同図は、一例として図1に示したバーストニューロンモデルを10個縦続接続した場合の構成図を示す。図中のSelfは自励振のバーストニューロンモデル、T₁₋₉は他励振のバーストニューロンモデルを示しており、○は興奮性シナプスモデル、●は抑制性シナプスモデルを示している。

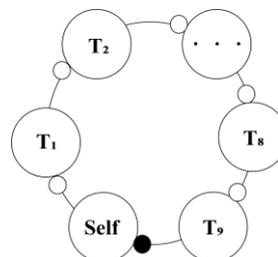


図2 介在細胞集団モデル

2.2 ミラー容量を用いた回路

図3にミラー容量を用いた回路の回路構成を示す。図4に図3のブートストラップを使った、容量マルチプライヤ回路を等価容量と等価抵抗を直列に接続した等価回路を示す。介在細胞集団モデルとCPGモデルの

1:日大理工・院(前)・電子 2:日大理工・教員・電子

積分回路の時定数を大きくするために、図1中の積分回路内Cをミラー容量に置き換えることで見かけ上の容量値を大きくすることができるため、パルス波の1周期を伸ばすことが可能である。本回路は、R1およびR2を用いて設計したゲインをC1に乗じた容量を得ることが可能である。

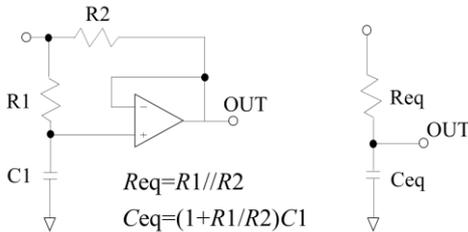


図3 ミラー容量を用いた回路

図4 等価回路

2.3 介在細胞集団モデルの段数による出力波形

図5, 6に同じ回路構成で介在細胞集団モデルの出力が6段目の場合と9段目の場合の出力波形を示す。同図において、横軸はTimeを、縦軸は図1中 inverter circuit の出力電圧を示す。同図より、図5は周期が約71 [ms]、周波数が約14.1 [Hz]で、図6は周期が約100 [ms]、周波数が約10 [Hz]を示している。このことから、介在細胞集団モデルの出力を従来の6段目からではなく、9段目とすることで、より周波数を引き下げることが出来る。これは、9段目を用いることで6段目を出力とした場合に比べ、より少ない容量値で同じ周波数を出力可能であることを示しており、容量値を下げることでより実装面積を削減可能であることを示している。

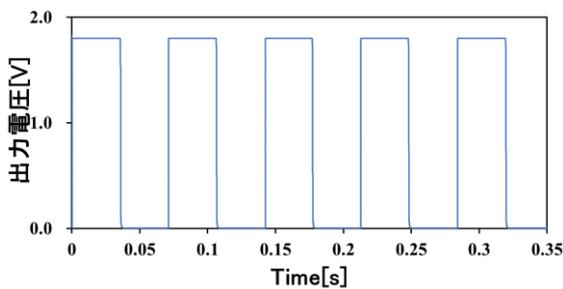


図5 6段目の出力波形

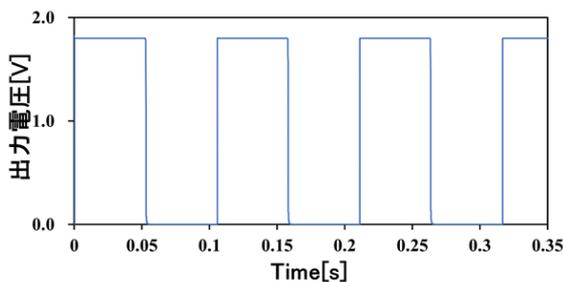


図6 9段目の出力波形

2.4 抵抗とコンデンサの個数による実装面積

図7に時定数を一定にした場合のミラー容量を用いた回路での抵抗R1とコンデンサC1の個数による実装面積を示す。ミラー容量のゲイン設計要素R2は、小面積化のため10Ωとした。同図より、コンデンサ(900fF)の個数が4個で抵抗(100kΩ)の個数が8個の時に面積が約8078.36 [μm²]であり、面積が最小となることを示している。コンデンサ、抵抗単体での面積比から、抵抗の個数をコンデンサの約1.9倍にすることで実装面積を小さくできる。また、ミラー容量を用いた回路を用いない場合、介在細胞集団モデルの1段当たりのコンデンサの容量が360 [pF]、面積は約394153 [μm²]であるため、最小の実装面積にした場合、従来モデルと比較して、約97.9%削減できる。

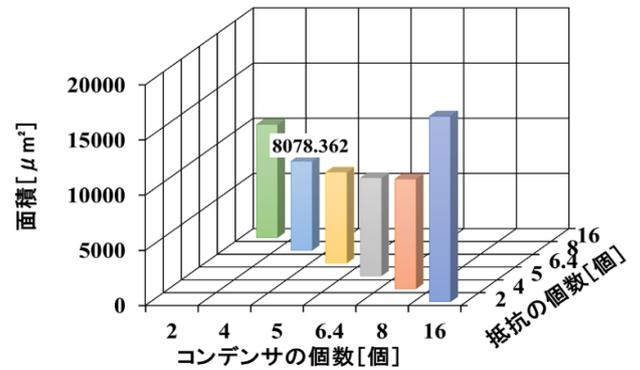


図7 抵抗とコンデンサの個数による実装面積

3. まとめ

今回、ロボットの歩行制御を目的として、ミラー容量を用いたCPGモデルの実装面積について検討を行った。その結果、CPGモデルの入力にあたる介在細胞集団モデルの出力を6段目から9段目へと変更し、さらに抵抗、コンデンサ単体での面積比から、ミラー容量を用いた回路の抵抗の個数をコンデンサの個数の約1.9倍にすることで、CPGモデルの実装面積を小さくできることを明らかにした。

今後は、4相同期が低周波数になる回路構成について検討をしていく予定である。

4. 参考文献

- [1] 福井貴大, 松川宗一郎, 福岡泰宏 “Pace を基本歩容とする4脚ロボットのための自律歩容遷移手法”, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.870, pp.18-36, 2019.
- [2] 中田一紀, 浅井哲也, 雨宮好仁 “歩行運動を制御する結合神経振動子の集積回路化”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.103, No.732, pp.129-134, 2004