

M-3

PWM サーボモータ駆動系及び CPG を内蔵したハードウェアニューラルネットワーク IC の開発 Development of Hardware Neural Network IC incorporating the PWM Servo Motor Drive System and the CPG

○阿部水樹¹, 富増優樹², 平尾聡志², 金子美泉³, 齊藤健³, 内木場文男³*Mizuki Abe¹, Yuki Tomimatsu², Satoshi Hirao², Minami Kaneko³, Ken Saito³, Fumio Uchikoba³

Abstract: Conventional robots are usually controlled by software and digital processors. This digital software control is versatile since it can modify with considerable flexibility. However, the digital software control performs only a limited routine and it is very difficult to adopt unexpected events. The purpose of our study is mimicking the biological neural networks and reproducing the similar motion of the living organisms in the robot. Previously, We developed the pulse type hardware neural networks (P-HNN) that contain a central pattern generator (CPG) and a pulse width modulation (PWM) servomotor controller. In this paper, we report the development of the P-HNN for integrated circuit excluding operational amplifiers.

1. まえがき

自律型ロボットの分野では、優れた制御システムを実現するために生体を模倣したシステムが数多く研究されており、中でも Artificial Neural Networks (ANN)は、生物の脳や神経系を工学的に模倣し、情報処理や制御等に対する応用研究が注目されている。

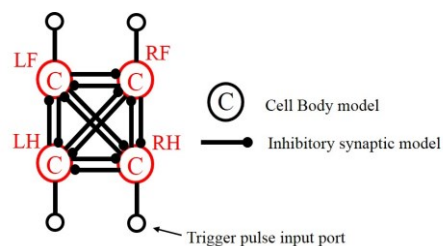
しかし、これらの ANN の研究はソフトウェアモデルを用いた数学的な模倣が主流である。大規模 ANN の構築においては、コンピュータ性能によって制限されるため、演算に時間がかかり、リアルタイムで処理を続けることは難しい。そのため、自律型ロボットに深層学習などの大規模 ANN を導入する場合、必要な計算能力や消費電力の関係上、卓上サイズ以下の小型ロボットに対して実装することは難しい。

対して、ハードウェアモデルを用いた ANN の研究も行われている。中でも電子回路モデルは、高速かつ連続で情報を処理できるため、ネットワークの規模が大きくなった場合でもリアルタイムで出力を生成することができ、実装面積の点から小型ロボットへの実装を期待できる。

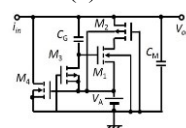
我々の研究の目的は Pulse-Type Hardware Neural Networks (P-HNN)を用いてロボットの制御システムを構築し、外部の環境の変化に対応できるロボットの実現することである。これまでに、生体の運動パターンを生成している Central Pattern Generator (CPG)をモデル化し、PWM サーボモータへのインターフェースと一体化した P-HNN を開発した^[1]。この P-HNN は回路素子に線形抵抗やオペアンプを使用しており、集積化を行うことが難しい。そこで本稿では、集積化に向けた CPG を含んだ PWM サーボモータ駆動系を開発したので報告する。

2. パルス形ハードウェアニューラルネットワークによって構成される CPG モデル

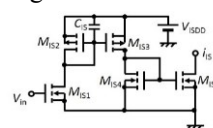
Figure1 に P-HNN によって構成した CPG モデルを示す。Figure1(a)は CPG モデルのネットワークの概略図を示しており、(d), (c)はそれぞれ構成要素である細胞体モデルと抑制性シナプスモデルの回路図を示している。細胞体モデルをシナプスモデルで相互に接続をおこなうと、同期現象が発生する。同期現象は同相同期と逆相同期の二種類が存在し、抑制性シナプスで相互接続した場合は細胞体の発振タイミングがずれる逆相同期現象が発生する。この現象を利用することでそれぞれの四足歩行動物の足(左前足:LF, 右前足:RF, 左後ろ足:LH, 右後ろ足 RH)に見られる歩行パターンを再現している。図中(a)の大きな円は細胞体モデル、小さな黒丸が抑制性シナプスモデルを示している。それぞれの足に対応した細胞体モデルが異なるタイミングで発振することで歩行パターンを形成している。



(a) Schematic diagram of CPG



(b) Cell body model



(c) Inhibitory synaptic model

Figure1. CPG by the cell body model and the synaptic model

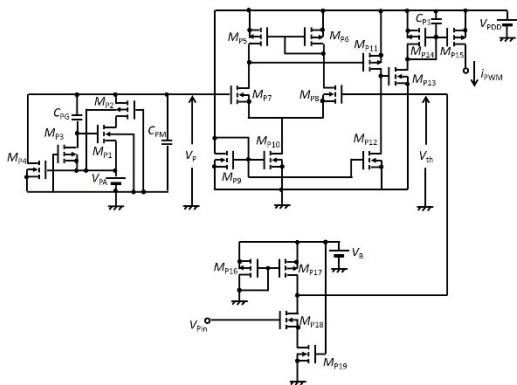


Figure2. Circuit diagram of the PWM servo control system.

3. PWM サーボモータ制御システム

Figure2 に P-HNN によって構成された PWM サーボモータ制御システムの回路図を示す. 本回路は V_{Pin} に CPG モデルの出力電圧を入力することで, 生成される PWM 信号のパルス幅を変化させることが可能である. サーボモータの角度の初期位置はバイアス電圧 V_B で調整可能である. また PWM 周期は自励発振を行っている細胞体モデルの発振周波数に依存しており, 図中コンデンサ C_{PG}, C_{PM} 及び内部電源電圧 V_{PA} によって決定される.

4. シミュレーション結果

Figure3 に CPG モデルの各細胞体モデルの出力結果を示す. 外部からのトリガパルスの信号によって walk のパターンの運動リズムを生成している.

CPG モデルの 4 つの細胞体モデルの内, Figure3 で灰色で示された細胞体モデル(RH)に接続した場合の i_{PWM} の出力を Figure4 に示す. シミュレーションでは負荷抵抗として $1 [M\Omega]$ を接続して電圧値でグラフに示している. なお, この時の V_{DD} は $3[V]$, V_B は $2.85[V]$ としている. Figure4(a)には CPG からの入力電圧 V_{Pin} と i_{PWM} をによって生じる電圧の PWM 信号を示している. 同図(b)(c)は CPG からの入力がある場合と無い場合の PWM 波形を抜き出したものである. (b)ではパルス幅約 $600[\mu s]$ で PWM 周期が $16040[\mu s]$ の信号を確認した. また, (c)ではパルス幅約 $1900[\mu s]$ で PWM 周期が $16040[\mu s]$ の信号を確認した. これは CPG からの信号が入力された際に, PWM 信号のパルス幅が変化し, サーボモータの角度が変化することを示唆している.

5. まとめ

本論文では Hitec Multiplex Japan の PWM サーボモータ HRS-5498SG を想定して開発を行った. HRS-

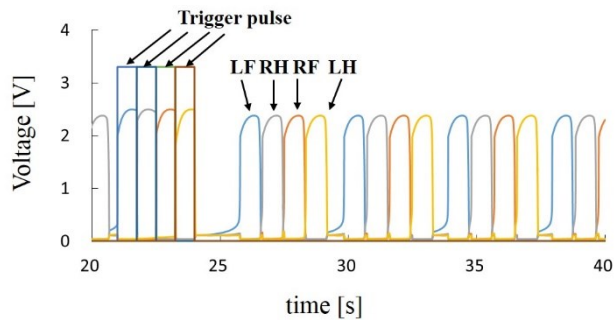
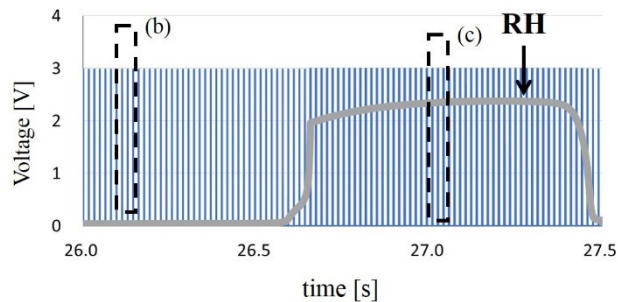
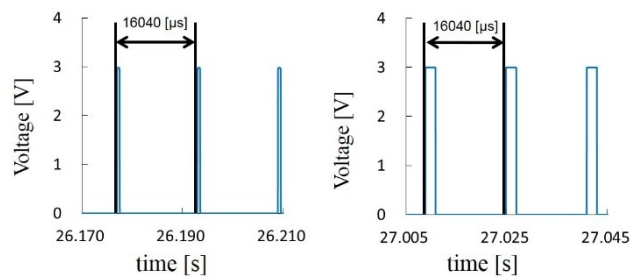


Figure3. Simulation of the locomotion rhythm



(a) Output waveform (RH and PWM waveform)



(b) Pulse width $600 [\mu s]$ (c) Pulse width $1900 [\mu s]$

Figure4. PWM output of i_{PWM}

5498SG の規格は PWM 周期が $16040[\mu s]$ で, 作動限界は $0 \sim 180[deg]$ である. パルス幅はサーボ角が $0[deg]$ の場合は最小幅の $600[\mu s]$, $180[deg]$ の場合は最大パルス幅の $2400[\mu s]$ に対応しており, 今回のシミュレーション結果はサーボモータの規格を満たしていると言える. また, CPG からの信号でパルス幅を変更することを示し, ロボットの PWM サーボモータ駆動系として使用可能であることを示唆した. 今後は集積回路の設計を行う予定である.

6. 参考文献

[1] 阿部・齊藤・金子・内木場:「パルス型ハードウェアニューラルネットワークによって構成される CPG を含んだ PWM サーボモータ駆動系の開発」, 平成 29 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.1276~1281, 2017