

電子回路小脳モデルの出力パルス補正信号に対する一検討

A Study on the Output Pulse Correction Signal of an Electronic Cerebellum Model

○近藤宏樹¹, 山口拓人², 佐伯勝敏³*Hiroki Kondoh¹, Takuto Yamagucgui², Katsutoshi Saeki³

Abstract : In this paper, a mechanism to compensate for negative motor errors and a simultaneous compensation suppression circuit are added to the cerebellar model, simulations are then carried out assuming the occurrence of motor errors. As a results, it is shown that the PWM signal can be corrected according to the motor error when a positive or negative motor error occurs in one pathway corresponding to a spatial coordinate of 5° in the cerebellar model.

1. まえがき

小脳は生体の運動学習に関わっており、この小脳機構に倣った自律的な学習則の一つとして、川人らに提唱されたフィードバック誤差学習が存在する^{[1][2]}.

先に我々は、フィードバック誤差学習を基に電子回路を用いて DC モーターで構成された産業用ロボットに対して運動学習を行うことを想定した小脳モデルの構築を行った^[3].

今回、本モデルに、負の運動誤差を補正するための機構の追加を行った。また、負の誤差を補正するための機構追加に伴い、本モデルの発火信号をパルス信号に変換するセクションに、同時補正抑圧回路を追加し運動誤差発生時を想定して、シミュレーションを行ったのでその結果を報告する。

2. 本論

図1に小脳モデルの全体のブロック図を示す。図中、入力層、下オリーブ核、プルキンエ細胞、小脳核は、制御対象が移動する空間の 5° ごとの空間座標と相関させた、他励振ニューロンモデル、赤矢印は興奮性シナプス回路、青矢印は抑制性シナプス回路で構成した。興奮性シナプス回路は、前段のニューロンモデルの発火を後段のニューロンモデルに電流として伝達し、後段のニューロンモデルを発火させる。抑制性シナプス入力回路は、興奮性と同様に発火を伝達し、後段のニューロンモデルの発火を抑制する。入力層および、下オリーブ核は、それぞれ制御対象に対する目標運動軌道信号と制御対象が行った実現運動軌道信号を受け発火する。プルキンエ細胞は、入力層の発火信号が興奮性シナプス回路を通して伝達され発火する。その際、発火信号の伝達効率が入力層と下オリーブ核の発火時間差から定まる結合荷重値に依存する。小脳核は、入力層から興奮性入力を受け続け、常に発火状態となっている。

今回、図中のプルキンエ細胞・小脳核において、負の運動誤差を補正するため、正の運動誤差が生じた際

に動作する PC+および、CN+、負の運動誤差が生じた際に動作する PC-および、CN-に分割した。そして、入力層—プルキンエ細胞間の興奮性シナプス経路の時定数回路 EX および、プルキンエ細胞—小脳核間の抑制性シナプス入力経路の時定数回路 INH は、1つの前段ニューロンからの入力に対し1経路のみで構成していたが、正負の運動誤差を補正するために正負の誤差をそれぞれ補正するための2経路で構成した。また、平行線維に結合荷重値比較回路を追加した。そして空間座標 5° に対応している1経路において正負の運動誤差を想定して結合荷重値の電圧をパラメータとして変化させ PWM 信号を補正可能であるか検討を行った。なお結合荷重値は運動誤差の大きさに応じて、初期値 0.9V から正の運動誤差発生時は増加、負の運動誤差発生時は減少する。

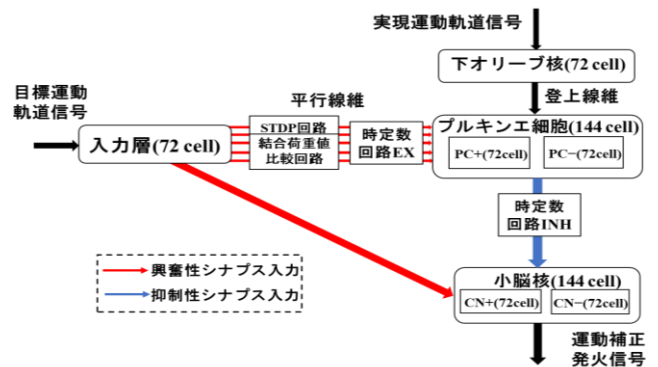


図1 小脳モデルのブロック図

図2に制御対象を含めた全体のブロック図を示す。図中、制御対象が物体操作時に、運動誤差が生じた際、小脳モデルから運動補正発火信号が出力され、発火信号変換セクションにおいてパルス信号に変換され、目標運動に対して物体非操作時を想定した PWM 信号を補正し、運動誤差を補正する。補正の際、小脳モデルにおける学習効率を向上させる関係上、特定の結合荷重値で CN±両方が同時に運動補正発火信号を出力してしまう。そのため論理ゲートで構成した同時補正抑圧回路を追加し改善を試みた。

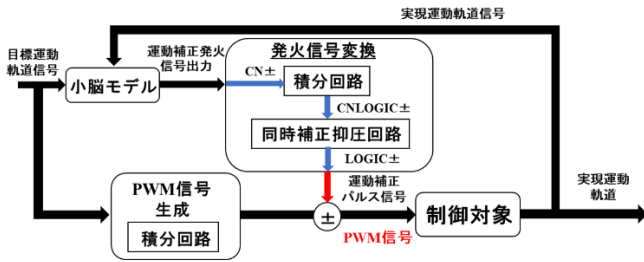


図2 全体のブロック図

図3に同時補正抑圧回路の回路図, 表1に同時補正抑圧回路の真理値表を示す. 図中, CNLOGIC±はCN±の運動補正発火信号を積分回路にてパルス信号に変換した信号, LOGIC±は最終的にPWM信号を補正する運動補正信号を示している. 表1より, 本回路を発火信号変換セクションに追加することで, CN±が同時に運動補正発火信号を出力してしまった際, 6.5ms間, 運動補正信号を抑圧できることを示している.

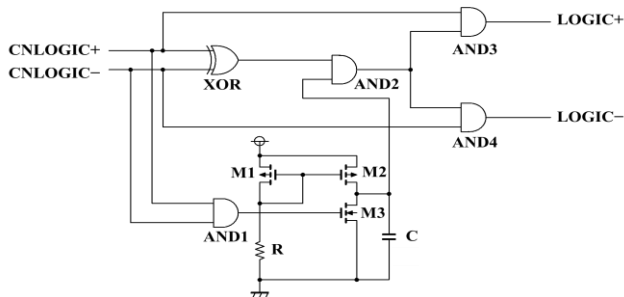
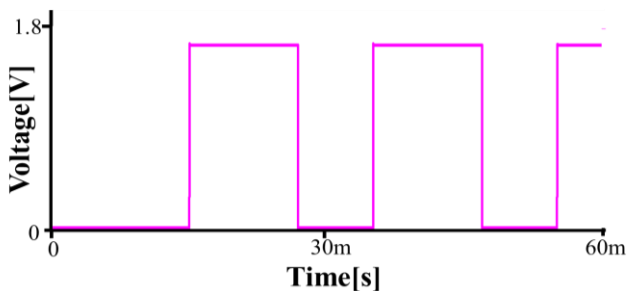


図3 同時補正抑圧回路

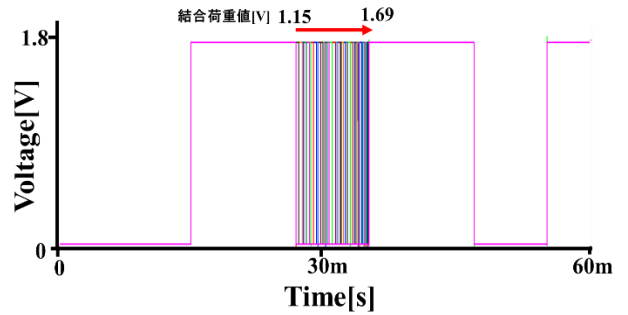
表1 同時補正抑圧回路の真理値表

入力		出力	
CNLOGIC+	CNLOGIC-	LOGIC+	LOGIC-
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0(6.5ms間)	0(6.5ms間)

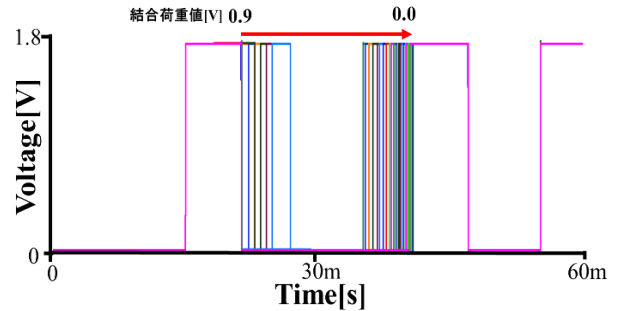
図4(a)に, 運動誤差非発生時のPWM信号, (b)に正の運動誤差発生時に補正を受けたPWM信号, (c)に負の運動誤差発生時に補正を受けたPWM信号を示す. 図中, 縦軸は電圧, 横軸は時間を示している. 同図より, 元のPWM信号に対して正の運動誤差が発生した際には, PWM信号のDuty比を増強, 負の運動誤差が発生した際は, Duty比を減弱可能なことを示している.



(a)運動誤差非発生時のPWM信号



(b)正の運動誤差発生時に補正を受けたPWM信号



(c)負の運動誤差発生時に補正を受けたPWM信号

図4 PWM信号

3. まとめ

今回, 小脳モデルに, 負の運動誤差を補正するための機構の追加を行った. また, 負の誤差を補正するための機構追加に伴い, 本モデルの発火信号をパルス信号に変換するセクションに, 同時補正抑圧回路を追加し運動誤差発生時を想定して, シミュレーションを行った.

その結果, ネットワーク内の空間座標 5° と対応した1経路において結合荷重値を電圧パラメータとして変化させた際, 正負の運動誤差が発生した際, 運動誤差に応じてPWM信号を補正可能であることを明らかにした.

今後, 小脳モデルに目標運動軌道信号と運動誤差を含んだ実現運動軌道信号を与え, 運動学習の可能性について検討していく予定である.

4. 参考文献

[1] 川人光男, 「小脳の内部モデルと運動学習」, J. SICE, Vol. 33, No. 4, (1994)
 [2] 伊藤正美, 伊藤宏司, 「生体とロボットにおける運動制御」, コロナ社, 計測自動制御学会 (1991)
 [3] 近藤宏樹, 山口拓人, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹: 「電子回路小脳モデルの出力パルス信号制御に対する一検討」, 2022年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, M-24, pp.769-770 (2022)