

4S-07 小脳モデルを用いた二重倒立振子の逆ダイナミクスモデルの獲得

南 和博*

西野 順二**

小高 知宏**

小倉 久和**

(*福井大学大学院 **福井大学工学部)

1 はじめに

本研究では人間の脳をモデルとして学習機能を持つ制御装置を設計し、一次元の二重倒立振子の逆ダイナミクスモデルの獲得を行なう。

フィードバック制御では、適当な制御関数を用いて物体を制御し、その誤差を入力部分へと返すことで、自動的に目的の制御量を得るというシステムになっている。ところが、フィードバック制御は算出された出力結果の誤差を入力へ返すという構造を持つため、その収束速度が制御関数に強く依存し、目的の制御量を得るまでに時間がかかる場合がある。この問題を解決するには、フィードフォワードモデルを用い、目的の制御量をあらかじめ計算する必要があるが、一般的にフィードフォワードモデルは外乱などから発生する誤差に弱いという欠点もあわせ持つ。

本研究では、人の小脳構造を参考にして作成した小脳モデルという記憶構造を用いて、フィードバック制御の一連の制御動作を学習する。また、獲得した制御知識を元に制御対象の次の動作および制御量を予想し、フィードバック制御を擬似的なフィードフォワード制御へと変換することを検討する。こうすることで、フィードバック制御よりも短時間で目的の制御量を獲得することができる。と考える。

今回は予備的実験として、本小脳モデルに倒立単振子の逆ダイナミクスモデルを獲得させることを目的として実験を行なった。

2 システムの構成

2.1 システムの全体図

本研究で用いるシステムの全体像は図1のようになっている。

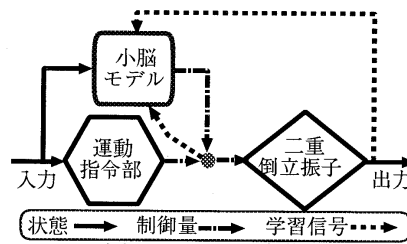


図 1: システム全体図

本システムは運動司令部、二重倒立振子シミュレータ、小脳モデルという3つの部分で構成されている。その動作を以下に示す。

運動司令部は、現在の振子の状態を入力として次の台車の制御量を算出し、二重倒立振子へと渡す。二重倒立振子は運動司令部からの制御量を受けとり、次の振子の状態を出力する。小脳モデルは運動司令部と同様の作業を行うが、学習信号を受けとることで内部状態を更新し、入出力関係を変化させることができる。

以上の作業を単位時間毎に繰り返して行なうことで、小脳モデルは振子を倒立させるまでの一連の動作を学習する。

2.2 二重倒立振子シミュレータ

本研究で用いる二重倒立振子シミュレータの概要、および各パラメータの一覧表を図2に示す。

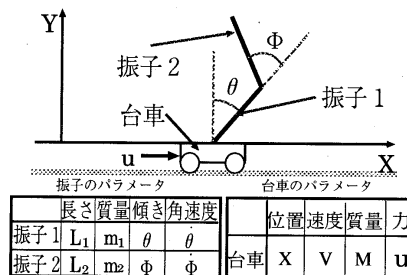


図 2: 二重倒立振子

この二重倒立振子シミュレータでは、各物体間の接点に摩擦はないものとする。図の二本の振子はXY平面上を自由に移動することが可能であり、台車は力uを受けることによってX軸上を自由に動くことができる。

Inverse dynamics model for double pendulum using cerebellum model

Kazuhiro Minami*

Junji Nishino** Tomohiro Odaka**

Hisakazu Ogura**

*Graduate School of Engineering, Fukui University

**Faculty of Engineering, Fukui University

二重倒立振子の制御はこの台車を制御することのみで行なう。

2.3 小脳モデル

小脳モデルは制御対象の状態に対応した制御量を出力するという基本動作を行なう。また、小脳モデルは学習信号を受けとることで、自己の内部状態を変化させることにより、入出力関係を変化、学習することができる。今回、この小脳モデルを、単純パーセプトロンアルゴリズムを応用して作成した。

図3に本研究で使った小脳モデルの概略図を示す。

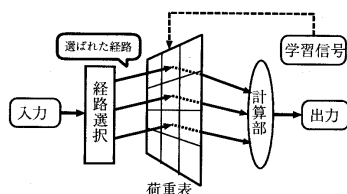


図3: 小脳モデル

本小脳モデルは経路選択部、荷重表、計算部という3つ部位で構成した。経路選択部は入力から制御対象の状態を受けとり、この入力に対応した荷重表への経路を選択するという構造を持つ。荷重表は小脳モデル内で記憶を保持する役割を持ち、本小脳モデルでは図3で示すように2次元の格子状構造を持つ複数のセルで構成した。この各セルはそれぞれ個別にデータ格納場所を持ち、経路選択部からの要請に応じて、計算部へとデータを出力するという構造を持っている。計算部では荷重表の各セルから送られてきたデータから最終的な出力値を計算し、制御量を出力する。以上が小脳モデルの動作概要である。

次に、小脳モデルの学習方法について述べる。図4は本小脳モデルの荷重表の概略図である。

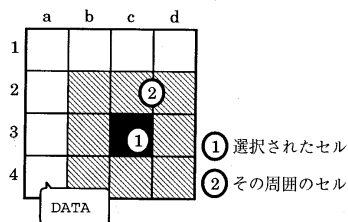


図4: 荷重表の学習

本小脳モデルの経路選択部では、入力に対応した荷重表のセルの位置(例えば図中の3c)を示す。荷重表は示されたセルから一定範囲のセル全てを選択し、その内部のデータを出力へと送る。出力はこれらのデータを総和することにより出力値を求める。ここで、出力と教師データとの間に誤差があった場合、荷重表はその誤差を受けとり、先程選択されたセル全てのデータを以下の式に従って更新する。

$$W_{(n+1)} = W_{(n)} + \alpha * \epsilon / N \quad (1)$$

ここで、 $W_{(n)}$ は現在のセル内データの状態、 α は学習係数、 ϵ は誤差、 N は選択されたセル数となっている。

3 倒立単振子の制御量獲得実験

今回、本小脳モデルを二重倒立振子へ適用する前の予備実験として、倒立単振子の逆ダイナミクスモデルの獲得実験を行なった。

小脳への入力値は倒立単振子の角度と角速度、出力値は台車の制御力とした。また、荷重表の広さは(200*200)、初期値は全て0、学習係数 $\alpha = 0.70$ 、選択セル数を100とした。今回の実験では、本研究室で作成した倒立単振子のファジィ制御の結果を教師として小脳に与え、実験を進めた。以下、この実験結果を示す。

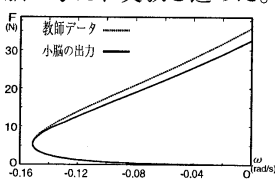


図5: 角速度と力の関係

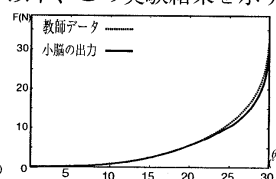


図6: 角度と力の関係

図5と図6は、振子を立てるという一連の動作を二度行ない、その後の学習結果を、小脳へ与えた入力の値(角度と角速度)と出力された制御量(力)の関係としてグラフに表したものである。両図ともに制御量が多い部分で多少の誤差がみられるが、おおむね良い結果が得られている。また、五度学習させた場合、結果は教師データとほぼ同じ特性を示した。

4 考察と課題

本小脳モデルで倒立単振子の逆ダイナミクスモデルを獲得することができた。今回用いた小脳モデルでは、二度の学習の場合、制御量が多い部分で多少の誤差が見られたが、これは学習の際に選択された複数のセルが同時にデータを更新し、古いデータ(振子の角度が0度から遠い場合)の信頼性が低くなるためと考えられる。このため、本小脳モデルでは、学習速度と制御力の変化を考慮しながら、経路選択部で選択するセルの個数と学習係数を調整する必要があると思われる。

また、現段階の小脳モデルでは、入力が2つ以下という状況でしか適用できないという問題点を持つ。そこで現在、入力を複数にするために、経路選択方法を自己組織的に学習させ、2次元の荷重表でも多次元の入力が可能な小脳モデルへの改良を進めている。

参考文献

- [1] T. コホネン(著):「自己組織化マップ」:シュプリンガー・フェアラーク東京:1996
- [2] J.S.Alubs(著), 小杉幸夫 他(訳):「ロボティクス」:啓学出版株式会社:1984