

Swing Up Intelligent Control of Double Inverted Pendulum Based on Human Knowledge

Seiji YASUNOBU, Takayuki IWASAKI

Institute of Engineering Mechanics and Systems
University of Tsukuba
Ibaraki 305-8573, JAPAN
yasunobu@esys.tsukuba.ac.jp

Abstract: An inverted pendulum is an unstable nonlinear system, it is difficult to control it. But human can get knowledge of operation by moving it. In this paper, we propose an intelligent control method based on human knowledge of operation.

Keywords: Double Inverted Pendulum, Swing up control, Intelligent control, Fuzzy control.

1. はじめに

倒立振子は不安定な非線形システムの代表例として、線形制御の実験や研究に広く用いられている。なかでも二重倒立振子は特に非線形性が強いので制御が困難である。しかし、人間は計算機上で時間を引き延ばし繰り返し操作を行なうことにより操作知識を獲得し、上手く制御できるようになる。本研究では、操作知識を

1. 第一振子の振り上げ
2. 第二振子の振り上げ
3. 倒立安定化

の順番で制御を行うとして記述し、第一振子の振り上げに予見ファジィ制御²⁾を、第二振子の振り上げ、倒立安定化に状態評価ファジィ制御を用いる知的制御システムを提案する。

2. 人間の操作知識に基づく制御方針

2.1 第一振子の振り上げ

第一振子が最下点に来た時に台車を動かし、振り上げを行なう。台車を左右どちらに、どれぐらいの時間動かしたら、振子のエネルギーがどれぐらい増えるかを予見して第一振子が倒立近傍に振り上がるよう加振する。

2.2 第二振子の振り上げ

第一振子の倒立を維持したまま、第二振子を振り上げる。第二振子が最下点に来た時に、台車を動かすことにより第一振子の先端を左右に動かし、第二振子を倒立近傍に振り上げる。

2.3 倒立安定化

第一振子に加えて、第二振子も倒立するよう台車を動かし、二重振子の姿勢を制御する。第一、第二振子共に倒立したら目標位置の方向に振子を傾け、移動させる。

3. 制御器の構築

3.1 制御器

上記の操作知識に基づき構築した制御器を Fig.1 に示す。システム状態に応じて制御部を切り換えることにより、二重振子を下垂状態から目標位置に倒立させる。

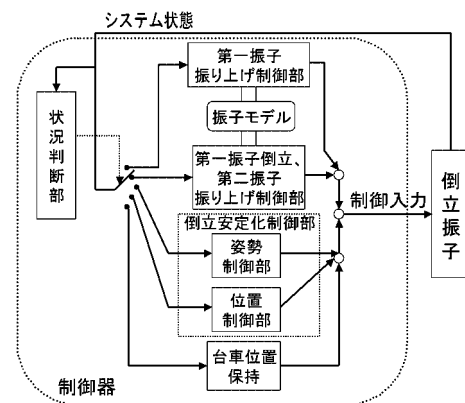


Figure 1: 制御器の概要

3.2 第一振子振り上げ制御部

振り上げ制御では、操作知識から獲得したモデルを用いて、予見ファジィ制御²⁾によって、台車への制御入力時間を決定する。制御入力時間とは、台車をモータで制御する際、一定電圧をモータに与える時間の長さである。また、ここでは振子を If-then ルールに基づくファジィモデルで記述する。この If-then ルールは「もし [If]、制御入力時間 (T_{inp}) が NB で、振子の持つエネルギー (E) が NB ならば、[then] エネルギーの増加 (ΔE) は NB になる。」と表す。

このモデルを用いて E と (T_{inp}) (制御指令) に対応する制御後の予測エネルギー ($E + \Delta E$) を算出する。

複数ある制御入力時間候補をモデルに入力し、予見される振子のエネルギーと台車の位置をファジィ評価し、最も評価の高い制御入力時間候補を制御入力時間として選択する。

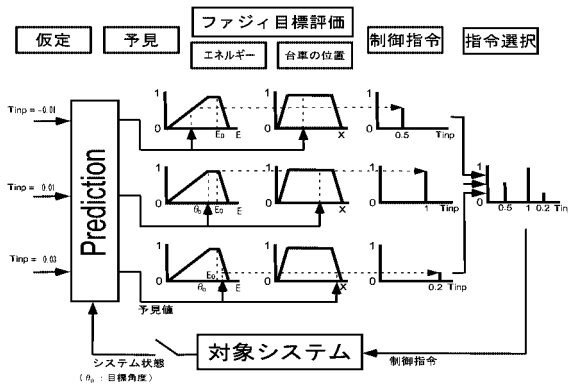


Figure 2: 予見ファジィ制御の推論過程

3.3 第一振り子倒立、第二振り子振り上げ制御部

第一振り子の位置制御における目標位置 (r_T) を変えることにより、第二振り子の加振量を変更する。目標位置は、操作知識から獲得したファジィモデルから決定する。ファジィモデルは、「もし [If]、第二振り子の最大振れ上がり角度 (θ_{2max}) が NB で、台車の位置 (r) が NB ならば、[then] 目標位置 (r_T) を NB にする。」のような If-then ルールで記述する。

3.4 倒立安定化制御部

倒立安定化制御部は、二重振り子の状態に応じて姿勢制御と位置制御を切り換える。(Fig.3)

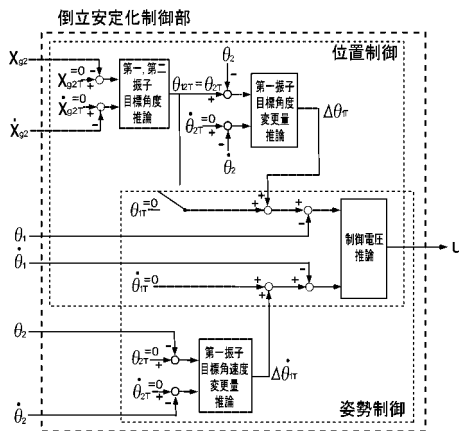


Figure 3: 倒立安定化制御部

姿勢制御部

$\theta_2, \dot{\theta}_2$ の状態についてファジィ推論を行い、第二振り子を鉛直上向きにするために必要な量 ($\Delta\theta_{1T}$) だけ第一振り子の目標角速度を $\theta_{1T} = 0$ から変更する。次に第一振り子の目標角度との差 ($\theta_{1T} - \theta_1$)、角速度差 ($\theta_{1T} + \Delta\theta_{1T} - \dot{\theta}_1$) についてファジィ推論を行い、制御指令電圧を決定する。

位置制御部

第二振り子の重心の位置 (x_{g2})、 x 軸方向の速度 (\dot{x}_{g2}) についてファジィ推論を行い、第二振り子の目標角度 (θ_{2T}) を設定する。次に第二振り子の目標角度との角度差 ($\theta_{2T} - \theta_2$) と目標角速度との差 ($\theta_{2T} - \dot{\theta}_2$) についてファジィ推論を

行い、第二振り子を目標角度にするための第一振り子の目標角度 (θ_{1T}) からの変更量 ($\Delta\theta_{2T}$) を設定する。得られた目標角度との角度差 ($\theta_{1T} + \Delta\theta_{2T} - \theta_1$)、目標角速度との角速度差 ($\theta_{1T} - \dot{\theta}_1$) についてファジィ推論を行い制御指令電圧を決定する。

4. シミュレーション結果

制御系設計支援ツール SIMULINK, SimMechanics (MathWorks 社製) を用いてシミュレーションを行なった。

$t = 0$ で垂下状態 ($r = 0, \dot{r} = 0, \theta_1 = \pi, \dot{\theta}_1 = 0, \theta_2 = \pi, \dot{\theta}_2 = 0$) の条件で開始し、サンプル時間を 10ms とした。その結果を Fig.4, Fig.5 に示す。

制御器は約 2 秒まで第一振り子の振り上げを行い、約 4.5 秒まで第二振り子の振り上げを行った後、倒立安定化制御に切り替えられ、倒立を達成している。

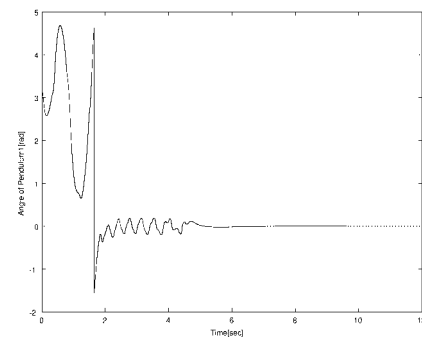


Figure 4: シミュレーションでの振り子 1 の角度

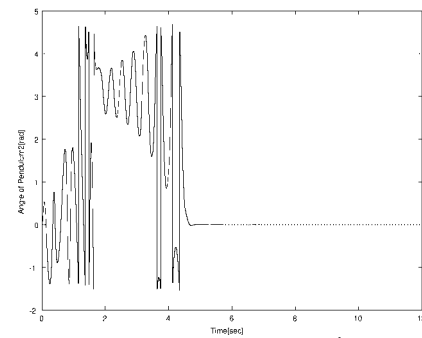


Figure 5: シミュレーションでの振り子 2 の角度

5. おわりに

本論文では、人間の操作知識から、第一振り子の振り上げでエネルギーの予測を行い、第二振り子の振り上げで状況に応じた制御を行い、倒立近傍で倒立安定化を行なった。これにより、二重振り子の振り上げ倒立制御が実現できることを確認した。

References

- [1] S.Yasunobu, T.Kitajima: The swing up control based on human experiences, SICE'98, pp.97-98 (1998)
- [2] S.Yasunobu: Fuzzy Engineering, Syokodo (1991)