

倒立単振り子に対する階層的なファジィ制御の検討

5 M-9

孫悦 小林貴生 西野順二 小高知宏 小倉久和
(福井大学工学部)

1 はじめに

非線形不安定系の制御において、環境の変化に追従する有効な制御の方法を獲得することを目標として、倒立振り子に対して人のように柔軟にふるまう制御方式を検討する。振り子が外部から影響を受けない場合には有効な制御を獲得することは容易である [1]。振り子に外力が作用している場合に、できるだけ小さい範囲の中で台車の位置を制御する方法を検討する。

振り子に対して、ファジィ制御コントローラを構成し、実験は、コンピュータシミュレーションで行なった。外力があっても安定するよう振り子の目標倒立角度をファジィ推論し、ファジィ制御を行う。このため、階層的なファジィ制御知識を構成し、階層的なファジィ制御システムのシミュレーションを行った。結果について報告する。

2 階層的制御システムの構成

本研究で用いる制御対象は自走式倒立振り子である。振り子は自由に回転できる軸で台車とつながっており、台車は水平線を往復運動することができる。振り子は台車が運動する直線を含む鉛直面で回転する。振り子の傾き角度及び台車の位置などはセンサーで検出することができる。自走式倒立振り子を図1に示す。

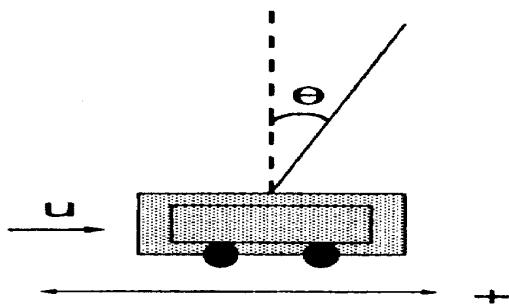


図1：自走式倒立振り子

ここで、振り子に外力の影響（例えば風）を受ける場合と台車の走行距離を制限する場合について以下のパラメータを用いて、シミュレーションを行った。

振り子の長さ：1.5m 振り子の重量：0.04kg
台車の重量：1.0kg 台車の最大加速度：3.0m/s²
振り子の制御最大の推論角度：10.0度

Hierarchical fuzzy control for inverted single pendulum
Sun Yue, Junji Nishino, Tomohiro Odaka and Hisakazu Ogura
Department of Information Science, Fukui University

振り子の制御最大の推論角速度：40.0度/s

倒立振り子に対して、外力が無い場合、倒立姿勢制御では単純なファジィ制御でも有効な結果を得ることができた。また外力がある場合には、あらかじめ制御部分に存在する外力を検出することで有効な制御をすることができた。今回は制御部分に存在する外力を検出することができない場合の制御方法について検討する。位置制御、振り子に対して外力がある場合に制御を行なうための階層的な制御構造を構成した。構成した制御システムを図2に示す。

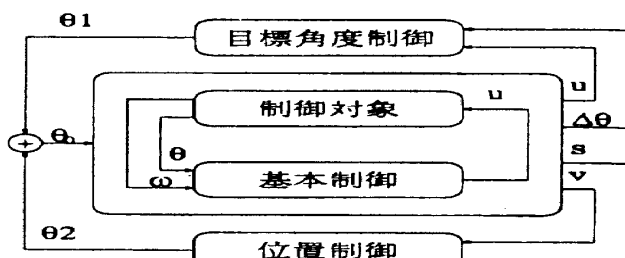


図2：システム構成

以上の図1と図2の中で使用する記号は以下のとおりである。

θ ：振り子の傾き角度 ω ：振り子の角速度
 s ：台車の走行距離 v ：台車の速度
 u ：台車に与える力 $\Delta\theta$ ：振り子の角度と目標角度の差
 θ_1 ：外力を推論する目標角度 θ_2 ：位置制御の目標角度
 θ_0 ：実際に用いる目標角度

1. 倒立姿勢制御(基本制御)

振り子が倒れないように振り子の傾き角度(θ)と角速度(ω)により、振り子を制御する。それをもとに振り子の傾きと同じ方向へ与える操作量を推論する。

2. 位置制御

倒立姿勢制御の時と同様な考え方で、単純なルールにより台車の位置を制御するためのルール群を構成した。台車の位置を制御することは台車を動かしたい方向に故意に振り子を倒すことで位置制御を行う。

3. 外力推論

振り子を安定させる時、振り子の角度と目標角度の差($\Delta\theta$)と操作量(u)の有無から、外力が存在するかどうか分かる。その時の u と $\Delta\theta$ により新しい目標角度を推論する。

3 階層的ファジィ制御ルール

振子を倒立させるために、振子の角度が目標角度になるような台車に与える力(u)をファジィ推論する。操作量を推論するファジィルールは一般に、複数個のif-then型ルールによって並列的に表現される。本研究ではファジィルールを単純化して、三つのファジィラベルを使用した。いろいろな観測量と制御量は負(N)、零(Z)、正(P)のファジィ集合で表現される。

1. 倒立姿勢制御ルール

倒立姿勢制御は振子を鉛直方向に安定な状態にさせるための基本的な制御である。制御ルールは経験から得られた三つのラベルから構成した。このルールを図3に示す。ここでN,Z,Pのそれぞれのファジィラベルは-1から+1までに正規化した。振子の角度、角速度と台車に与える力のメンバーシップ関数を図4に示す。

| | | | |
|----------------|---|---|---|
| θ | N | Z | P |
| $\dot{\theta}$ | N | N | Z |
| | Z | N | Z |
| | P | Z | P |

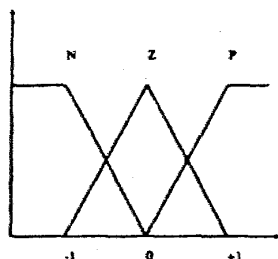


図3：倒立姿勢制御ルール 図4：メンバーシップ関数

2. 位置制御と外力推論ルール

倒立姿勢制御と同様な考え方で、位置制御と外力推論ルールを構成した。位置制御は台車の速度(v)と位置(s)により、台車の速度が0になるように一定の行動範囲の中で制御する。外力推論は振子の角度と目標角度の差と台車に与える力により、新しい目標角度を得る。位置制御と外力推論のメンバーシップ関数を図5に示す。

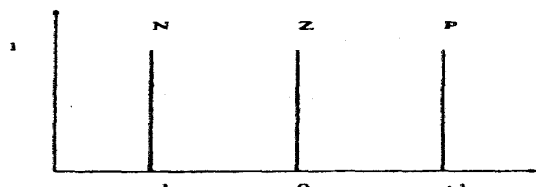


図5：位置制御と外力推論のメンバーシップ関数

4 実験結果と考察

倒立姿勢制御モデルを構成したシミュレータ上で実験を行った。振子に対して、外力も考慮に入れた階層的な

制御シミュレーションシステムを構成した。各パラメータに対して、制御できる範囲、初期値をいろいろと変更し、実験を行った。前述したファジィ推論を用いた外力が存在する場合の実験結果を図6に示す。振子が安定する時、振子の角度は外力と釣り合う目標角度の近くに収束しており制御が行なわれていることが分かる。

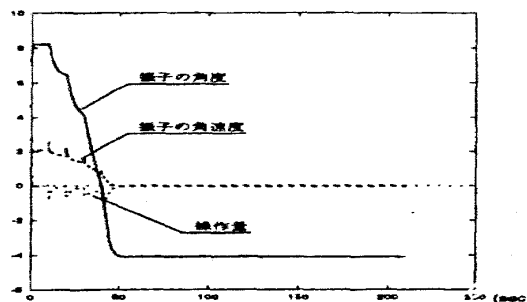


図6：外力推論実験結果

また、倒立姿勢制御と位置制御を組み合わせ、位置制御モデルを構成した。今回は外力が無い場合に対して、実験を行った。図7を見ると、振子が安定する時、台車は設定した位置に止まっている。これから位置制御に関して、振子に有効な制御をすることが分かる。

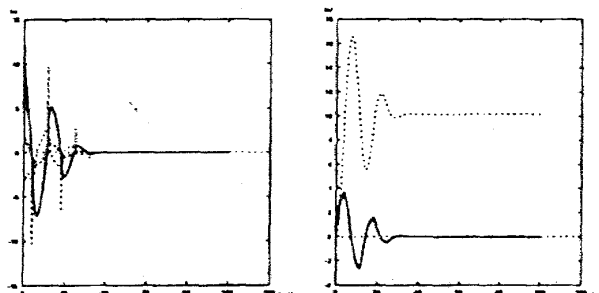


図7：位置制御実験結果

今回は実際の自走式倒立振子に近づくために振子に対しての外力を認識し、水平面上でそのような状況に適応した制御も行った。今後の課題としては、外力が変化を伴う時の推論方法を検討することと水平面と斜面からなる複合路を推定認識することが挙げられる。

参考文献

- [1] 孫悦, 西野順二, 小高知宏, 小倉久和: 「外力の影響を受ける単振子におけるファジィ制御の検討」平成9年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集 F-73, pp.382
- [2] 小林貴生, 西野順二, 小高知宏, 小倉久和: 「自走式倒立振子の階層的適応型ファジィ制御」. 第13回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.35-38(1997)