

1S-1

適応ファジィ推論システムによる 二重倒立振子の姿勢制御の試み

小倉 久和, 番 貴之, 小高 知宏, 高濱 徹行

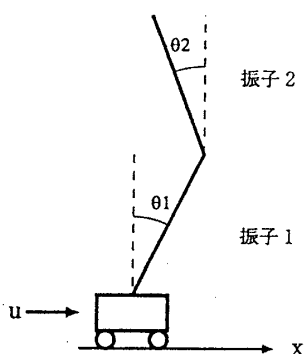
福井大学工学部

1. はじめに

ファジィ制御におけるルールの作成は、多くのパラメータを含むため、ユーザにまかされている部分が多い。そのため、経験と感によるチューニングを行う必要がある。われわれは、これまで倒立振子の姿勢制御を対象に、そのようなファジィ制御ルールを作成し最適化するためのファジィ推論システムを作成し、報告してきた。倒立振子は本質的に自由度が1しかないため、ルールが単純化されていた。そこで、ファジィ推論システムの質的な向上を図るために、制御対象を多自由度系に拡張し、2自由度の二重倒立振子とした。本報告では、このような多自由度の不安定系におけるファジィ制御ルールの特性を解析し、適応制御系として構築するための検討を行った予備的結果を示す。

2. 二重倒立振子のファジィ姿勢制御系

対象の二重振子の系は、振子1が台車に、振子2が振子1に、それぞれまさつの無いジョイントで接続されており、それぞれの振子は鉛直平面内で自由に回転できる。台車は水平方向の力 u を受けて左右に水平線上を自由に動ける。2つの振子の傾きを θ_1, θ_2 、その時間変化を ω_1, ω_2 とする。



この系の状態はこれらの4個の制御変数で記述され、いずれも観測量である。制御目標は、 u を操作して各振子が鉛直上向きとなるよう姿勢を保つことである。台車の位置 x と速度 v も観測量であり、かつ、指定された点附近になるよう制御される。本報告では、二重振子の系も含めて、全体をコンピュータシミュレーション・システムとして作成し、検討を行った。

ファジィ推論システムは、この系の6個の観測量 ($\theta_1, \theta_2, \omega_1, \omega_2, x, v$) から操作量 u を推論する。ファジィ推論は、プロダクション型のファジィ推論ルールの集合に対し、mamdanii型のミニ・マックス推論を適用して行う。各ファジィ・プロダクションルールの前件部は、複数の変数（観測量）の条件のAND結合からなり、後件部は操作量 u である。それぞれの変数は三角型のファジィ集合で表現している。後件部は一部ではシングルトンとした。これらのファジィ集合はすべて7つのファジィラベル、NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PBで代表させている。これらのファジィ集合を定義するレンジは基準化しており、それぞれの変数に応じて適当に変換してレンジを設定する。レンジの設定はリアルタイムに行うこともできるように、制御シミュレータを構成した。

3. 姿勢制御ルールの構成とシミュレーション

3.1. 制御知識の獲得と倒立姿勢制御

制御知識の獲得は、二重倒立振子シミュレータを利用してマニュアルで台車に力を与えながら振子の動きを観察し、その経験から知識として抽出することにより行う。

倒立姿勢制御のためのファジィルールは次のように構成した。 $u_i (i=1, 2)$ は振子 i の観測量からのみ推論された振子 i の姿勢を制御するための操作量で、実際の操作量 u は、 u_1 と u_2 から推論する。 u_2 を推論

A Study of Double Pendulum Control System
using Fuzzy Inference,

Hisakazu Ogura, Takayuki Ban, Tomohiro Odaka,
Tetsuyuki Takahama, Fukui University
3-9-1 Bunkyo, Fukui City, 910 Japan

するとき用いる振子2の傾きは、振子1に対する相対的な傾きであり、自然な観測量でもある。 u_1 を推論するルールは、表1に示すように単振子の場合と同じである。 u_2 も同じ形で表せる。表2は u を推論するルール表である。

表1: u_1 の推論に用いるファジィルール

$\varphi_1 \backslash \omega_1$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB					NB		
NM				NB	NM	NS	
NS			NB	NM	NS	ZO	PS
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS		NS	ZO	PS	PM	PB	
PM			PS	PM	PB		
PB				PB			

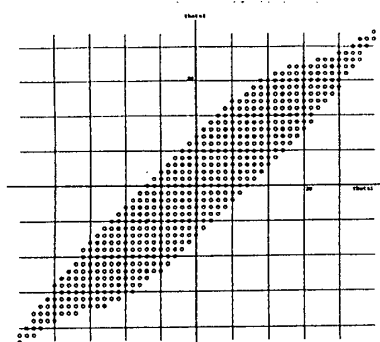
表2: u の推論に用いるファジィルール表

$u_1 \backslash u_2$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB							
NM			NM	NS	PS	PM	PB
NS		NB	NM	NS	PS	PM	PB
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS		NB	NM	NS	PS	PM	PB
PM			NB	NM	NS	PS	PM
PB							

3.2. 適応制御の適用

より広い領域の初期値で倒立可能とすることと、より真っ直ぐに倒立させることは、相反する要請であるが、この要請を満足させるためには振子の状態に応じてルールを適応させる必要がある。各状態に対応したルール表を作成することも可能であるが、ルール表自身の特徴が振子の状態にあまり依存しないことが解ったため、ファジィラベルに対応するファジィ集合のレンジを状態に応じてダイナミックに変更することで適応させた。

以上の適応推論ルールを用いることにより、倒立させることのできる初期角度(角速度はゼロ)の領域を、図に示す。



3.3. 台車位置制御

台車位置の制御を行わないと、当然ながら一般には、系は等速度運動に陥る。ここでは、制御の目標角度を操作することによって台車の位置を制御する

ことを試みた。目標角度の変更量は、台車位置 x と速度 v からファジィ推論する。その結果、台車は目標位置の廻りから離れなくなる。

3.4. 振り上げ制御

任意の初期角度から倒立を実現するためには、振り上げ倒立の制御ルールが必要である。鉛直下向きの状態から、振り上げによって図1の制御可能な領域に持って行くために、マニュアルによる振子の運動の観察から、次のような制御ルール群を構成した。

(1) 鉛直下付近でのルール

振子に勢いを付けるルール

振子が折れ曲がらないようにするルール

(2) 水平方向付近でのルール

折れ曲がりを防ぐためのルール

(3) 倒立に失敗したときに体勢を立て直すルール

勢いを押さえるルール

これらのルール群は、適当な判断で切り換えて適用する。このようにルール群を構成することにより、任意の初期角度から倒立した状態に移行させることができた。

4. 考察と課題

二重振子という2自由度系の制御空間の位相的特徴は、1自由度の単振子系とは大きく異なっている。このため、単振子の場合可能であった直観的なルールの構成が困難となる。しかし、ここで示した結果によれば、そのような系においても、制御系の観察と勘に基づく経験から分析的にルールを構成し、ファジィ推論をもとに統合することができることが解った。もちろん、ここでの結果は、予備的な試行結果であり、制御ルールや適応の方法などをさらにリファインすることが必要である。また、それらのもとなった、制御知識そのもののリファインも不可欠である。さらに、他の多自由度系の制御についても検討を進める必要がある。

参考文献

番, 高橋, 小高, 小倉: “二重倒立振子姿勢制御のためのファジィルールの構成と評価” 平成5年度電気関係学会北陸支部連合大会 講演論文集 p. 342