

積分補償型ファジィコントローラによる制御系設計

2002MM055 宮地 貴広

指導教員 高見 勲

1 はじめに

本研究ではソフトコンピューティングの1つであるファジィ理論によるファジィ制御を取り上げる。ファジィ制御はルールベースの制御と呼ばれ高い適応性を持っている。しかし、シミュレーションする中でオフセットが発生することがわかった。そこでそのオフセットの解消方法として積分補償を提案する。まずはシミュレーションで理想的な結果を出すことを目標とし、最終的には実験装置への適用を試みることで有効性を実証する。

2 制御対象

図1に本研究の制御対象の磁気浮上装置を示す。この実験装置は円盤磁石の下にある電磁石に電圧をかけることで磁気が発生させ、反発力によって円盤磁石を浮上させる[1]。電圧[V]を変化させることで、位置[m]が変化する。今回、円盤磁石を0.02[m]浮上させて安定させることを考える。

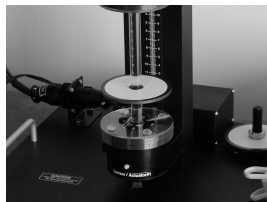


図1 磁気浮上実験機 (730 モデル)

3 ファジィコントローラ設計

3.1 ファジィ制御

ファジィ制御は、「 x のとき y する」という人間が経験的に蓄積するルールをあらかじめコントローラに準備することで制御を行なう手法である。そのためファジィ制御では従来の数学理論に基づく手法と比べて厳密なモデリングが不要である。また、各ルールが比較的広い範囲に対応しているためルールに多少の欠陥があっても操作を続けることができるという特徴も持っている[2]。

3.2 ファジィ推論

ファジィ制御はファジィ推論という推論方法を基に制御が行なわれる。本研究の推論では、まず2入力1出力型のコントローラを設計することから2つの入力メンバーシップ関数と1つの出力メンバーシップ関数を作成した。図2に示した入力メンバーシップ関数の1つは円盤磁石の位置についてであり、もう1つは速度についてである。また、図3の出力メンバーシップ関数は電磁石への電圧についてである。このメンバーシップ関数を形成しているファジィ集合は、クリスプ集合のように所属集合を決定するだけでなくその所属度も算出できるという特徴を持っている。これらのメンバーシップ関数を「IF-THEN-」形式で表現されたファジィルールによって結び繋げる。ファジィ制御ではこのルールの組み合わせによって制御を行なう。前件部と呼ばれるIFの部分で位置と速度の適合度を算出し、THEN以降の後件部によって電圧の操作量を決定する。本研究で作成したファジィルールを表1に示す。なお、演算法はシミュレーション、実験ともにmin-max法という一般的なものを

を使用する。

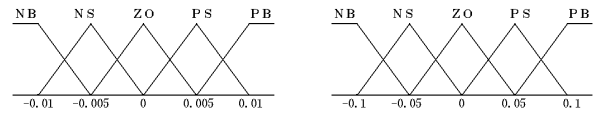


図2 入力メンバーシップ関数 (左:位置 [m], 右:速度 [m/s])

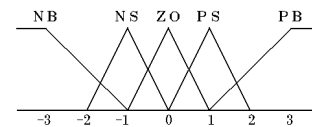


図3 出力メンバーシップ関数 (電圧 [V])

表1 ファジィルール

		位 置				
		NB	NS	ZO	PS	PB
速 度	NB	PB	PB	PB	PS	ZO
	NS	PB	PS	PS	ZO	NS
	ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
	PS	PS	ZO	NS	NS	NB
	PB	ZO	NS	NB	NB	NB

3.3 シミュレーション

コンピュータ上でシミュレーションを行なった結果を図4に示す。

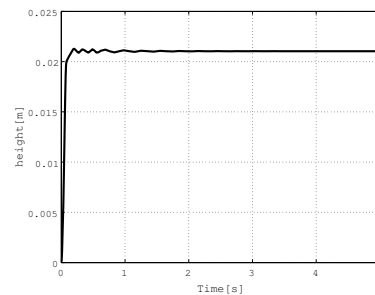


図4 シミュレーション結果 1

3.4 考察

これを見ると円盤磁石は目標値付近まで浮上し、安定している。しかし目標値に完全に一致しているわけではない。この原因として、ファジィ制御ではファジィ集合をもとに推論されているため、コントローラへの入力が位置と速度だけでは多少のオフセットを残したままでも許容してしまっているからだと考えられる。

4 積分補償型ファジィコントローラ

4.1 積分補償

ファジィ制御にみられるオフセットはメンバーシップ関数やファジィルールのチューニングによってある程度は減らすことが可能であるが完全に0にすることは難しい。また、もし仮に0にすることができたとしても初期値や目標値の変化に対して

目標値を追従する保証はない．そこでオフセットを解消するための方法として積分補償が有効ではないかと考え，目標値を0にとった「位置の積分」を入力メンバーシップ関数の1つに加えることで3入力1出力型のコントローラに変更する．

4.2 ファジィルールの簡略化

入力メンバーシップ関数に「位置の積分」の追加することによって，入力メンバーシップ関数は既存の2つと合わせて3つ必要になる．それぞれのメンバーシップ関数は5つのファジィ集合から形成されているので，ファジィルールは通常ならば $5^3 = 125$ 個作成する必要がある．しかし125個のファジィルールを考えることは複雑かつ困難で手間がかかる．そこで，ある程度目標値に近づいてからオフセットが観測されることに着目し，安定し始める速度ZO(-0.05~0.05)の場合にのみその適合度に応じて「位置の積分」を考慮する方法をとる．これによってファジィルールの作成は45個でよくなり，大幅にファジィルールの個数を減らしながらも目標値付近では安定して目標値を追従できると考えた．新たに作成した入力メンバーシップ関数を図5に，ファジィルールを表2に示す．

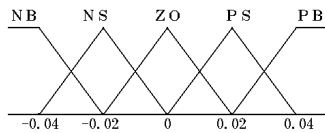


図5 入力メンバーシップ関数 (積分補償)

表2 積分補償ファジィルール

速度 ZO	位置					
	NB	NS	ZO	PS	PB	
位置 の 積 分	PB	PB	PB	PS	ZO	NB
	PS	PB	PB	PS	NS	NB
	ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
	PS	PB	PS	NS	NB	NB
	PB	PB	ZO	NS	NB	NB

4.3 シミュレーション

積分補償を取り入れたコントローラでシミュレーションを行った結果を図6に示す．

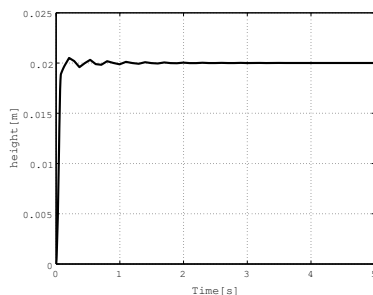


図6 シミュレーション結果2

4.4 考察

シミュレーション結果からも明らかなように積分補償を加える前に比べて確実にオフセットを解消することができた．これによって，部分的に積分補償を加えるだけでも目標値を追従することがわかった．

5 実験

5.1 実験装置へ適用

シミュレーションにおいて理想的な出力を得ることができたことから，このコントローラを磁気浮上装置へ適用する．シミュレーションではファジィ制御のツールボックスを使用していたが実験装置では全てをプログラムで書く必要があるため，出力メンバーシップ関数から操作量を決定する際の重心法を簡略化した[3]．

5.2 実験結果1

シミュレーションと等価なメンバーシップ関数で実行した．しかし非常に大きな振動が発生して不安定になってしまった．

5.3 実験結果2

実験結果1を受け，出力メンバーシップ関数の幅を徐々に小さくして再度実行した．その結果，はじめの10%に狭めたときに目標値で安定化できた．さらに目標値追従性を出力するために0.01[m]のステップ入力を加えた．その結果が図7である．

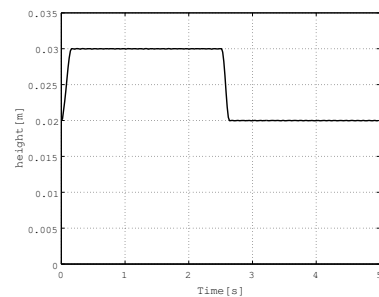


図7 目標値応答

5.4 考察

実験結果をみると，出力メンバーシップ関数のゲイン調整のみで理想的な波形を出力することができたことがわかる．これは，はじめの出力メンバーシップ関数のゲインが大きすぎたことで，そのまま実験装置に適用させた際に円盤磁石が過敏に反応し過ぎていたことを意味している．結果として大きな変更をすることなく理想的な出力を得ることができたわけだが，このための微調整にかなりの時間を要している．参考としてさらにゲインを下げて実験をしたが，その結果オーバーシュートが発生してしまった．コイルにかかる変化電圧を小さくしたため，上にかこうとする円盤磁石の勢いを抑えることができなかったからだと考えられる．

6 おわりに

目標値追従性向上のために積分補償器を提案し，ファジィコントローラに組み込んだことで目標値応答に対するオフセットの発生を抑えることができた．これはシミュレーション，実験結果からも明らかであり積分補償型ファジィ制御の有効性を実証したといえる．また，より設計を容易に行なうために簡略化したファジィルールを用いたことについても制御性を損ねることなく結果が出力されたことから有効であったと思われる．

参考文献

- [1] 石川和宏, 大橋勇太: 磁気浮上建造システムのモデル同定と制御の高度化, 南山大学数理情報学部数理科学科 (2004)
- [2] 川田昌克, 西岡勝博: MATLAB/Simulink によるわかりやすい制御工学, 森北出版 (2001)
- [3] 田中英夫: ファジィモデリングとその応用, 朝倉書店 (1990)