

ファジィ制御の研究

Study of Fuzzy Control

○趙 立華*, 大久保重範*, 及川一美*, 高橋達也*

○Lihua Zhao*, Sigenori Okubo*, Kazumi Oikawa*, Tatsuya Takahashi*

* 山形大学工学部

* Yamagata University

キーワード: ファジィ (Fuzzy)、制御 (Control)、ファジィ制御器 (Fuzzy Control)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部 機械システム工学科 大久保研究室 趙 立華

Tel: (0238) 26-3245, Fax: (0238) 26-3245, E-mail: zhaohl28@hotmail.co.jp

1. はじめに

1974年に、ロンドン大学のマムダニ教授がスチームエンジンの制御にファジィ制御を試み、その有効性を実証したのがファジィ制御の始まりである。日本では、1980年代に入ってからファジィ制御の研究が進み、応用事例や実用化事例が出はじめた。特に、1990年には家電製品を中心にファジィブームが起った。このようにファジィ制御が世の中に浸透したのは、制御対象に対する定性的認識あるいはエキスパートの制御ノウハウがあれば、一応は制御規則が作成でき、ファジィ制御装置が設計でき、そこそこの制御ができるからである。

本文はファジィ制御に関する基礎とファジィ制御器の設計の手順を研究して、後のファジィ制御の理論を活用して、研究の行うことを準備した。

2. ファジィ制御器の設計

2.1 設計の基本的手順

図2.1はファジィ制御器の設計の基本的な手順を示している。

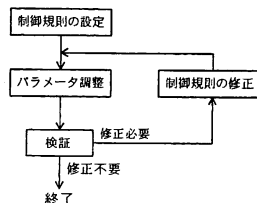


図2.1 ファジィコントローラの一般的な設計手順

ファジィ制御器を設計する手順は次の3つからなる。

1. 制御規則の設定
2. パラメータ調整 (ファジィ集合の決定)
3. 制御規則の検証、修正

ファジィ制御器を設計するためには制御規則を決定しなければならない。パラメータ調整とは制御規則に含まれるファジィ集合のパラメータを調整することを意味する。

パラメータ調整によって、制御性能の改善が期待できる。しかし、パラメータ調整を行っても制御性能の改善を望めないときがある。この原因の1つは制御規則の設定が不十分である場合である。この場合には、制御規則を修正し、再びパラメータ調整を行なうことで制御性能の改善が期待できる。

ファジィ制御の命は何と言っても制御規則であり、制御規則の作成方法として汎用的な方法はないが、大きく分ければ次の4つに分類できる。

1. エキスパートからの知識獲得に基づく設計法
2. 過渡特性に着目した設計法
3. 従来の制御理論を利用する設計法
4. 学習的な方法を利用する設計法

1. はその系に携わるオペレータの制御知識のノウハウを言語則として表現することが前提であり、現在でもこ

の方法によって多くのファジィ制御器が設計されている。

2. は制御系の過渡特性に着目して設計する方法である。この特徴は、位相面での過渡応答と規則表との対応を考えながら規則を作成していくものである。

3. は(制御対象+制御器=望ましい挙動)からなるいわゆる制御系の方程式をシステムテイツクに解くことを基本としており、この考え方は従来の設計の考え方に従うものであり、モデルに基づくファジィ制御を目指すものである。

4. は何らかの学習手法を使ってファジィ制御規則の獲得やパラメータ調整を試みるものである。

2. 2 一般的なファジィ制御器の設計

ここでは、エキスパートが行っている制御に基づく、一般的なファジィ制御器の設計手順を示す。

1. 現在稼働している制御系あるいはこれから自動化しようとして計画しているシステムの問題点を明らかにすることが、まず第一の仕事である。現状の制御系では満足する結果が得られない。あるいは従来の制御技術では制御系を設計するのが困難であり、限界があるなどの問題点があり、これらを解決する1つの方法として、ファジィ制御を試みようとするのが普通である。現状の問題点を明らかにし、整理し、次に何を解決したいために制御系を設計するのか、いわゆる制御目的を明確にすることが必要である。

次に、制御目的の達成度合いを計る評価基準を用意しておく必要がある。制御結果の評価基準には、立ち上がり時間、オーバーシュート量、制御偏差の2乗積分値などの量的基準やのり心地、安全性、仕上がりのよさなどの質的基準が考えられる。

2. 制御目的を考慮しつつ、エキスパートシステムの考えに基づいて制御規則を作成する。ファジィ制御装置を設計するということは、ファジィ制御器規則を作ることである。そのために、まず、制御規則の前件部変数と後件部変数を決めなければならない。前件部変数には、制御対象の状態変数だけでなく、これを加工した変数、さらには外部環境変数などが考えられる。

3. 前件部変数が決まると、前件部空間のファジィ分割を行う。エキスパートからの聞き取り調査によって、ある変数については、3つの場合に分け、別の変数については、5つの場合に分けて考えている、などを知ることができる。後件部変数についてもファジィ分割を行う。

次に、分割されたファジィラベルに対して、ファジィ

集合を定義する。ここで、考えられるファジィ集合の型には、台形型、三角型、釣り鐘型、直線型、逆正接関数型、棒型などがある。

一般に、台形型、三角型、釣り鐘型は、ファジィ分割を細かく行うときに用いられ、直線型、逆正接関数型は、ファジィ分割をおおざっぱに行うときに用いられる。棒方は、ファジィ集合が非ファジィ値で定義される場合であり、後件部変数のファジィ分割に対してのみ用いられる。

4. エキスパートの制御戦略あるいは制御ノウハウを、*if*部においては、前件部変数の組からなるファジィ複合命題、*then*部においては、後件部変数に対するファジィ命題を記述することで、知識表現する。

5. 4. で構成された制御規則を用いて、制御実験あるいは制御シミュレーションを行い、1. の評価基準を考慮して、制御規則を修正する。この際、制御実験で使われず、実際にも使われそうにない規則を削除したり、複数の規則を統合して1つの規則に集約したり、可能ならファジィラベル数を少なくしたりなどして、制御規則の構造を決定する。

6. 最後に、評価基準を満足する制御結果が得られるように、制御規則のファジィ集合のパラメータを調節する。ここでいうパラメータとは、1つにはファジィ集合の台集合の上限値、下限値を決める定数であり、もう1つはファジィラベルのメンバーシップ関数を決める値である。

2. 3 ファジィ制御装置の型

制御装置には、位置型、速度型の2つの型がある。ファジィ制御装置では、これらの型は、*if-then*形式で書かれた制御規則の後件部の操作量の記述方法に違いがある。PID型ファジィ制御装置を例にとると、それぞれ

1. 位置型

$$\text{if } \sum e_k \text{ is } A \text{ and } e_k \text{ is } B \text{ and } \Delta e_k \text{ is } C \text{ then } u_k \text{ is } D$$

2. 速度型

$$\text{if } e_k \text{ is } A \text{ and } \Delta e_k \text{ is } B \text{ and } \Delta^2 e_k \text{ is } C \text{ then } \Delta u_k \text{ is } D$$

と記述される。ここで、

$$e_k = r - x_k \quad (2.1)$$

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-1} \quad (2.2)$$

$$\Delta^2 e_k = \Delta e_k - \Delta e_{k-1} \quad (2.3)$$

$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1} \quad (2.4)$$

であり、 r は目標値、 x_k 、 u_k それぞれ時刻 k における制御量、操作量を表す。

1. の形式の制御規則は、後件部が操作量の絶対量で記述

されていることから、位置型である。それに対し、2. の形式は、後件部が操作量の1階差分量の記述になっているので、速度型と呼ばれている。

2.4 制御規則の型

ファジィ制御装置の中枢部の制御規則の前件部の記述表現によって、次に示す3つの型が考えられる。

1. 前件部を独立な1変数で記述する型

if x_1 *is* A_1 *then* y *is* B_1

if x_2 *is* A_2 *then* y *is* B_2

⋮

if x_l *is* A_l *then* y *is* B_l

2. 前件部を2変数以上で記述する型

if x_1 *is* A_{11} x_2 *is* A_{12} *and* x_3 *is* A_{13} *then* y *is* B_1

if x_1 *is* A_{21} x_2 *is* A_{22} *and* x_3 *is* A_{23} *then* y *is* B_2

⋮

if x_1 *is* A_{l1} x_2 *is* A_{l2} *and* x_3 *is* A_{l3} *then* y *is* B_l

3. 前件部に1., 2. をともに含む型

if x_1 *is* A_1 *then* y *is* B_1

if x_2 *is* A_2 *then* y *is* B_2

if x_1 *is* A_{31} x_2 *is* A_{32} *and* x_3 *is* A_{33} *then* y *is* B_3

⋮

if x_1 *is* A_{l1} x_2 *is* A_{l2} *and* x_3 *is* A_{l3} *then* y *is* B_l

1. の型は、後件部変数が前件部変数によって独立に支持される場合のルール表現である。この場合、制御規則がシンプルで、規則数が他の型より少なくできる。2. の型は、前件部変数のファジィラベルの組み合わせによって制御規則が記述される。3. の型は、結論 y が前件部の変数 x によって独立に支持されるルールと、前件部が多変数のルールから構成されるもので、実際の制御でよく用いられる型である。

2.5 ファジィ制御器の入出力関係

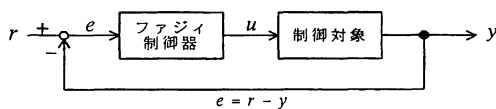


図2.2 ファジィ制御系

図2.2 で示した制御対象に対して、次のファジィルールを設定する。

規則 i : *if* e *is* P_{e_i} *then* u *is* P_{u_i}

ここで、 $i = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, +\infty$ である。 P_{e_i}, P_{u_i} のメンバーシップ関数をそれぞれ図 2.3 のようにとる。

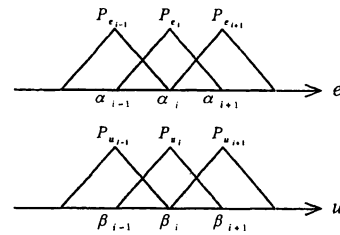


図2.3 メンバーシップ関数

ここで、 α_i, β_i はそれぞれ、

$$\alpha_i = \alpha \times i \quad (2.5)$$

$$\beta_i = \beta \times i \quad (2.6)$$

である。いま、 $\alpha_{i-1} \leq e < \alpha_i$ として、推論法に product-Sum 重心法を使った場合、ファジィ制御器からの出力 u は式 (2.8) となる。

$$u = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} uB(u, e)du}{\int_{-\infty}^{\infty} B(u, e)du} \quad (2.7)$$

$$= \frac{\beta\{(\alpha i - e)^3 + 3\alpha(i-1)(\alpha i - e)^2 - \alpha^2(3i+4)(\alpha i - e) + 6\alpha^2 i\}}{3\alpha\{(\alpha i - e)^2 - \alpha(\alpha i - e) + 2\alpha^2\}} \quad (2.8)$$

ここで、

$$i = \left\lceil \frac{e}{\alpha} \right\rceil + 1 \quad (2.9)$$

である。制御対象の状態変数を $x = [x_1 \ x_2]$ とし、その出力 y を式 (2.10) のように与える。

$$y = 2x_1 + \frac{3}{2}x_2 \quad (2.10)$$

$\alpha = 4.0, \beta = 3.0, \gamma = 0$ とすれば、制御対象に対してのファジィ制御器からの出力は図 2.4 のような面となる。

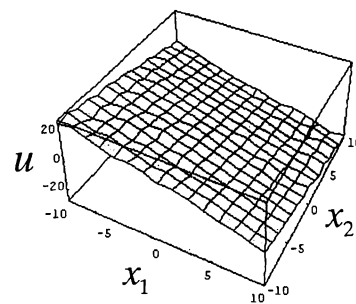


図2.4 ファジィ制御器の入出力関係

また、レギュレータからの出力は一般に次式の形で与えられ、

$$u = -Fx \quad (2.11)$$

その入出力関係は図 2.5 で与えられる平面となる。ただし、ファジィ制御器からの出力の比較のため、フィードバック係数行列 F をファジィ制御器の出力面と類似するように与えており、 $F = [1 \ 1]$ とした。

図2.4より、ファジィ制御器の出力面において、もつとも起伏が激しい箇所は $(x_1, x_2) \approx (10, 10), (-10, -10)$ の個所であり、これは式(2.10)の $|y|$ が最大のときに対応する。それに

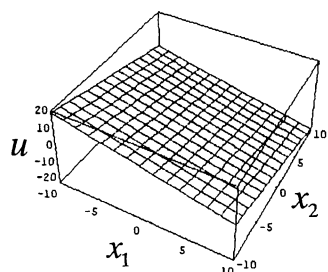


図2.5 レギュレータの入出力関係

対して、面が穏やかになるのは $x_1 \approx -x_2$ のときであり、これは $y \approx 0$ のときである。つまり、 $|y|$ が大きくなるほど、出力面は非線形性を増し、逆に $|y|$ が小さくなるほど、出力面は線形性を増し、図2.5で表されるレギュレータの出力曲面に類似してくる。非線形モデルを線形近似した場合、その近傍では出力面が平面のレギュレータで制御可能だが、そこから離れてしまうとモデルは非線形性を増し、レギュレータでは制御不能となり、非線形性を備えた入力面が必要となる。ファジィ制御器の出力面はこの条件を十分満足しており、ファジィ制御器は非線形モデルに強い制御器であることがわかる。また、ファジィ制御器の出力は一般的に次式で表される。

$$u = -\frac{N(e)}{D(e)} \quad (2.12)$$

レギュレータの場合、その出力は式(2.11)のような線形結合形で表現されるが、ファジィ制御器の出力は式(2.12)の分数形で表現でき、レギュレータに比べ、収束性が速い制御器であると考えられる。

3.今後の課題

本文はファジィ制御を研究した。今後では、実際の応用に関する研究を続いで、MATLABソフトでシミュレーション行いと思う。

4.参考文献

- (1) 日本ファジィ学会：ファジィ制御
日刊工業新聞社 1993.4
- (2) 坂田 宗久：ファジィ制御に関する研究
山形大学修士学位論文 1999.3
- (3) 廣田 薫：ファジィ活用事例集
工業調査会 1991.2