論文

メンバーシップ関数の重複領域における
ファジィ制御システムの特⼒について†

小松崎 年雄*

本論文では、線形制御系を用いて構成したファジィ制御システムのメンバーシップ関数の重複領域における特⼒について調べている。すなわち、はじめに、状態空間をファジィ分割し、その各領域にある条件を満たすシステムをフィードバック操作量で配置し、また適当なメンバーシップ関数を用いれば、その間の重複領域に合成固有ベクトルおよび合成固有値が生ずることを示している。次に、2次システムについて合成固有ベクトルを計算し、また軌道が収束する合成固有ベクトルの性質について調べている。最後に、スカラ操作量を持つシステムに対し、複素平面上で各領域の閉ループシステムの固有値を用いて、与えられた合成固有値を生ずるメンバーシップ関数値を簡単に計算する方法について述べている。また、その方法を用いて、仕様として与えられた合成固有値を持つシステムの設計法について述べている。

キーワード：ファジィ制御、スライディングモード、合成固有ベクトル、合成固有値、システム設計法

1. はじめに

近年、コンピュータのめざましい高性能化にともない、制御過程中システムの構造の変わる可変構造システムが注目されている。その代表的なものとしてスライディングモード制御¹⁾やファジィ制御^{2),3)}がある。ファジィ制御は、制御領域をファジィ集合を用いて分割し、その各分割領域で操作量により構造の異なるシステムを決め⁴⁾、分割領域境界のあいまい領域でメンバーシップ関数を用いて構造変化している。著者は、文献⁵⁾で、ファジィ分割された各領域に操作量により適当なシステムを指定する方法を用いて、より良い応答を持つシステムの設計法について述べた。ファジィ制御において、ファジィ分割された各領域に特⼒の異なるシステムを配置した場合、あいまい領域でシステムの特⼒が変わる。あいまい領域におけるシステムの特⼒変化は、各領域のシステムやファジィ分割の方法およびメンバーシップ関数などの影響を受ける。

一方、ファジィ制御に他の制御を組み合わせることにより、より良い応答を持つシステムの設計法も考えられる。たとえば、ファジィ制御にスライディングモード制御を組み合わせた方法として、後件部に前件部メンバーシップ関数の平均値よりなる切り換え面を用いた設計法⁶⁾などがある。

本論では、ファジィ制御にスライディングモード制御を組み合わせた場合のメンバーシップ関数の重複領域におけるシステムの特⼒変化について調べている。は

じめに、線形システムに対し、ファジィ分割された状態空間における各領域の領域境界においてスライディングモードを起こすような適当なシステムを線形状態フィードバック操作量により配置し、また適当なメンバーシップ関数を用いて重複領域の操作量を構成すれば、その重複領域内に軌道が収束する合成固有ベクトルおよび合成固有値が生ずることを示している。次に、簡単な2次システムについて、合成固有ベクトルを計算し、また合成固有ベクトルの特⼒について調べている。最後に、スカラ操作量を持つシステムに対し、各領域に配置されたシステムの固有値を用いて与えられた合成固有値を持つメンバーシップ関数値を複素平面上で計算する方法を示している。また、その方法を用いたシステムの設計法について述べている。

2. 位相面の分割

次のシステムを考える。

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$u = -Kx \quad (2)$$

ここに、 x および u はそれぞれ n 次の状態ベクトルおよび r 次の操作量ベクトルとする。また、 A , B , K はそれぞれ適当な次数を持つ定数行列とする。

位相空間を $(n-1)$ 次元の超平面 $P_1 (\sigma_1 = S_1 x = 0)$ と $P_2 (\sigma_2 = S_2 x = 0)$ を用いて図1のように分割する。分割された各領域を **R1**, **R2** とし、またその間の重複領域(後述のメンバーシップ関数の重複領域)を **R12**, **R21** とする。ここに、 S_1 および S_2 は $1 \times n$ の行ベクトルである。

重複領域 **R12**, **R21** における超平面 $P (\sigma = Sx = 0)$ を境界超平面 P_1 , P_2 を用いて次の形で構成する。

$$S = g_1 S_1 + g_2 S_2 \quad (3)$$

ここに、 $g_i (i=1, 2)$ はメンバーシップ関数で、 $0 \leq g_i \leq$

† Characteristics of Fuzzy Control System in Membership Function's Overlap Region
Toshio KOMATSUZAKI

* 八戸工業大学
Hachinohe Institute of Technology

図1 ファジィ分割

1、領域 R_i で1、メンバーシップ関数の重複領域で $g_1 + g_2 = 1$ 、その他の領域で0となる関数とする。

上において、 S_1, S_2 の第 n 要素を1と規格化して以後取り扱う。このとき、 S も規格化される。

上式より、重複領域における超平面 P に対し、メンバーシップ関数 g_i は次のように表される。

$$(S - S_2)x = g_1(S_1 - S_2)x \quad (4)$$

$$(S - S_1)x = g_2(S_2 - S_1)x \quad (5)$$

はじめに、重複領域 R_{12} について考える。各領域 R_i ($i=1,2$) の操作量を $u_i = -K_i x$ 、重複領域 R_{12} における操作量を $u_{12} = -K_{12}x$ とする。このとき、上述の g_i を用いて重複領域を含む全領域におけるシステムの操作量のフィードバック係数行列 K を次のように構成する。

$$K = \sum g_j K_j \quad (6)$$

さて、超平面 P_1, P_2 および各領域の操作量 $u_i = -K_i x$ が与えられたとする。このとき、(3)式で定義される重複領域の超平面 P に対しメンバーシップ関数 g_i が決まり、(6)式より重複領域の超平面 P 上におけるフィードバック係数行列 K_{12} は一定となる。しかし、状態の変化とともに g_i が変化し、フィードバック係数行列 K_{12} も変化し、またシステムの固有値および固有ベクトルも変化する。特に、重複領域内における固有値の変化の中で、固有値が実数となる状態 x が属する超平面 P について考える。このとき、超平面 P 上ではフィードバック係数行列 K_{12} が一定なので、この超平面上の閉ループシステムの固有値および固有ベクトルは一定となる。特に、重複領域内のある超平面上のシステムにおいて、そのときのシステムの軌道が固有ベクトルと同一超平面上に生ずるとき、軌道はこの超平面上の固有ベクトルに漸近する。この実数固有ベクトルを合成固有ベクトル v_c 、これに対応する実数の固有値を合成固有値 λ_c と呼ぶ。合成固有ベクトルおよび合成固有値は従来の固有ベクトルと同様に次の(7)式より、軌道が固有ベクトルと同一超平面に生ずるものとして求められる。

図2 合成固有ベクトル生成条件1

$$(A - BK_{12})v_c = \lambda_c v_c \quad (7)$$

次に、重複領域において合成固有ベクトルを生ずる条件について考える。その条件として、次のものを考える。

条件1. 各分割領域と重複領域との境界超平面において、システムの軌道が重複領域内に向かうこと (図2)。

条件1が満たされるとする。このとき、重複領域に進入してきた軌道は、重複領域内のある超平面 P_0 上で原点あるいはその反対方向を向く。一方、重複領域における超平面 P 上では閉ループシステムは線形システムなので、重複領域に進入してきたすべての軌道は超平面 P_0 上で原点あるいはその反対方向を向く。すなわち、超平面 P_0 上の閉ループシステムの固有ベクトルに漸近する。ゆえに、(7)式を満たす合成固有ベクトルが存在する。

上に示した条件1は、重複領域がないときスライディングモード制御を起こす条件となる。すなわち、上述の条件1を満たすファジィ制御は、線形システムで構成されたスライディングモード制御に重複領域を設けたものと同じとなる。

3. 2次システムの特性

本節では、前節で述べた合成固有ベクトルの特性を2次システムについて調べる。

はじめに、 $x = [x_1 \ x_2]^T$ とし、重複領域の境界直線 P_1 ($S_1 x = 0$)、 P_2 ($S_2 x = 0$) および(3)式で定義される重複領域内の直線 P ($Sx = 0$) を次のようにする。

$$\begin{aligned} S_1 &= [m_1 \ 1] \quad S_2 = [m_2 \ 1] \\ S &= [m \ 1] \end{aligned} \quad (8)$$

このとき、重複領域におけるメンバーシップ関数(4)、(5)式は次のようになる。

$$g_1 = (m - m_2) / (m_1 - m_2) \quad (9)$$

$$g_2 = (m - m_1) / (m_2 - m_1) \quad (10)$$

次に、次の(11)式で与えられる簡単な2次システムについて合成固有ベクトルを求め、またその特性につ

いて調べる。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

条件1を満たすようなシステムを与える領域 **R1** および領域 **R2** のフィードバック係数行列をそれぞれ $K_1 = [k_{11} \ k_{12}]$, $K_2 = [k_{21} \ k_{22}]$ とすれば、合成固有ベクトル $v_c = [1 \ m_c]^T$ は(7)式より次のように求まる。

$$m_2 + \alpha m + \beta = 0 \quad (12)$$

$$\alpha \equiv a_1 m - b_1,$$

$$a_1 \equiv (k_{12} - k_{22}) / a$$

$$b_1 \equiv (m_2 k_{22} - m_1 k_{12}) / a$$

$$\beta \equiv a_2 m - b_2$$

$$a_2 \equiv (k_{11} - k_{21}) / a$$

$$b_2 \equiv (m_2 k_{21} - m_1 k_{11}) / a$$

$$a \equiv m_1 - m_2$$

$$\therefore m_{c1,2} = \{-(a_1 + b_2) \pm \sqrt{D}\} / 2(1 + a_2) \quad (13)$$

$$D \equiv (a_1 + b_2)^2 - 4(1 + a_2) b_1$$

ここに、 $m_{c1,2}$ は(13)式右辺の $\{\}$ 内の複号 $\pm$ に対応する。

2次システムの場合、(13)式からわかるように合成固有ベクトルは2つ存在するが、重複領域においてはその内の1つが実際の合成固有ベクトルとなる。これは、重複領域の設定位置により決まる。この位置関係について調べる。説明の簡略化のため、各領域の固有値および境界直線を次のように設定する。すなわち、領域 **R1** の閉ループシステムの固有値を複素数 λ_{11} , λ_{12} とする。同様に、領域 **R2** の閉ループシステムの固有値を実数 λ_{21} , λ_{22} ($\lambda_{22} \leq \lambda_{21}$, $\lambda_{22} < 0$) とし、その固有値に対する固有ベクトルをそれぞれ $v_{21} = [1 \ m_{21}]^T$, $v_{22} = [1 \ m_{22}]^T$ とする。このとき、境界直線 P_2 を固有ベクトル v_{21}, v_{22} の間に選べば前節で述べた条件1は満たされる。すなわち、 m_2 を次のように選ぶ。

$$m_{22} \leq -m_2 \leq m_{21} \quad (14)$$

領域 **R1** の状態を初期値とする閉ループシステムの固有値は、重複領域 **R12** において複素固有値 λ_{11} , λ_{12} から実数固有値 λ_{21} , λ_{22} へ図3のように変化する。

図3 重複領域における固有値軌跡

この固有値の変化は、はじめ、複素根より実数の重根 λ_0 となり、同時にそれに対応する実数固有ベクトル w_0 を生ずる。やがて、状態の変化とともに固有値は異なる実数根となり、同時にそれに対応する相異なる実数固有ベクトル w_1 , w_2 を生ずる。ただし、大きい方の固有値に対する固有ベクトルを w_1 とする。重根が負で重根を生ずる状態の位置が w_0 より正側(図4(a)における A 点)のとき、軌道は固有ベクトル w_1 に向かって進む。しかし、条件1を満たすことより軌道は境界直線 P_2 を越えられないので、軌道は重複領域内の w_0 より広がってきたある固有ベクトル w_1 に漸近収束する。また、重根を生ずる状態の位置が w_0 より負側(図4(b)における B 点)のとき、軌道は2象限の w_1 に向かう。しかし、条件1を満たすことにより、軌道は境界直線 P_2 を越えられないので、 w_0 より広がってきた小さい方の固有値に対応するある固有ベクトル w_2 に追いつかれ重複領域内の w_2 に漸近収束する。このように、固有値が重根となる状態の位置と重根の固有ベクトルとの位置関係により上述の w_1 あるいは w_2 が合成固有ベクトルとなる。すなわち、重根の固有ベクトルを $w_0 = [1 \ m_0]^T$ とするとき、重複領域において状態の属する直線 $P(\sigma = Sx)$ の傾きは S の第1要素 m に対し $-m$ となるので、 $-m > m_0$ ならば合成固有ベクトルの傾きは m_{c1} となり、また $-m < m_0$ ならば m_{c2} となる。これは、重複領域の設定位置により決まる。

(a) 関係1

(b) 関係2

図4 合成固有ベクトルと状態との関係

文献5)において、ファジィ分割された領域のうち速応領域の減衰係数を1より小さく、減衰領域の減衰係数を1より大きくした場合のシステムが良い応答を与えている。このシステムの構成は、上述の重複領域に合成固有ベクトルを生ずるシステムの例である。

3次以上のシステムについても、上と同様のことがいえる。

次に、上で述べた2次システムのパラメータ変動に対するロバスト性について考える。システムに含まれるパラメータの変動後の領域 **R1** の閉ループシステムの固有値が変動前と同じく複素数、領域 **R2** の固有値が実数とする。また、領域 **R2** の変化後の実数固有値に対応する固有ベクトルを $v_{2j} + \Delta v_{2j} = [1 \quad m_{2j} + \Delta m_{2j}]^T$ ($j=1, 2$) とする。このとき、次式が満たされるならば、パラメータ変動後のシステムは同じ重複領域に合成固有ベクトルを生ずる。

$$m_{22} + \Delta m_{22} \leq -m_2 \leq m_{21} + \Delta m_{21} \quad (15)$$

すなわち、(15)式が満たされるならばパラメータ変動後のシステムも、同じ重複領域内で合成固有ベクトルに沿って原点へ収束するという意味でロバスト性があるといえる。

4. システムの設計

4.1 状態空間の分割

図1のような領域 **R1**, **R2** の分割に対し、重複領域 **R12** で合成固有ベクトルの存在条件1を満たすように各領域のシステムを選んだとき、重複領域 **R21** では条件1は満たされない。そこで、図5のように領域 **R2** を超平面 P_2 とし、その左側に領域 **R3** を設ける。領域 **R2** と **R3** の間にも重複領域 **R23** を設け、重複領域 **R23** と領域 **R3** との境界超平面を P_3 ($S_3x=0$) とする。ここに、 S_3 は $1 \times n$ の行ベクトルである。領域 **R3** のシステムとして超平面 P_3 の近傍の軌道が領域 **R23** から領域 **R3** へ向かうものを選ぶ。このとき、境界超平面 P_2 近傍の領域

図5 領域 **R3**, **R0** を考えた分割

R23 の状態も重複領域 **R12** に向かうので、領域 **R23** においても(7)式を満たす合成固有ベクトルを生ずる。前述の重複領域 **R12** に生ずる合成固有ベクトルの近傍の状態は、この合成固有ベクトルに漸近する。一方、領域 **R23** に生ずる合成固有ベクトルの近傍の状態は、この合成固有ベクトルより離れる。この意味で、重複領域 **R12** に生ずる合成固有ベクトルを合成スロウ固有ベクトル、重複領域 **R23** に生ずる合成固有ベクトルを合成ファースト固有ベクトルと呼ぶ。合成ファースト固有ベクトルについての説明は省略する。

さて、図1の分割において、原点近傍では重複領域が狭くチャタリングなどを生じやすい。また、速応性の面からも特性の改善が必要である。そこで、図5のように原点近傍で切り換えない超円の領域 **R0** を設ける。領域 **R0** のシステムの特性としては、たとえば原点からの行き過ぎ量がなく、速応性の良いフィードバック操作量 $u_0 = -K_0x$ を選ぶ。また、領域 **R0** の境界に重複領域を設ける。このとき、次のようなメンバーシップ関数 g_{01} , g_{02} を考える。すなわち、 g_{01} は領域 **R0** で1、重複領域で次の(16)式、その他の領域では0となる関数である。同様に、 g_{02} は領域 **R0** で0、重複領域で次の(17)式、その他の領域では1となる関数である。

$$g_{01} = (r - r_2) / (r_1 - r_2) \quad (16)$$

$$g_{02} = (r - r_1) / (r_2 - r_1) \quad (17)$$

ここに、 r は原点からの距離を表し、 r_1 , r_2 はそれぞれ重複領域の内側および外側の超円の半径を表す。また、 $g_{01} + g_{02} = 1$ となる。領域 **R0** を設けたときの重複領域を含む全体のフィードバック係数行列 K を次のように構成する。

$$K = g_{01}K_0 + g_{02}\sum g_jK_j \quad (18)$$

4.2 固有値配置を用いた設計法

前節の2次システムでわかるように、合成固有ベクトルおよび合成固有値の計算は複雑である。ゆえに、上述の特性を応用したシステムの設計法において、計算の簡略化が重要となる。そこで、本節では、スカラー操作量を持つ n 次システムについて合成固有値を用いた計算の簡単な設計法を述べる。

システム(1), (2)式の固有多項式を $f(s, K)$ とする。

$$f(s, K) \equiv |sI - A - BK| \quad (19)$$

ここに、 I は $n \times n$ の単位行列を表す。 $f(s, K)$ について、 K の要素を含まない $f_2(s)$ を次のように分離する。

$$f(s, K) = f_1(s, K) + f_2(s) \quad (20)$$

ただし、操作量がスカラーなので、 $f_1(s, K)$ は K の線形関数となる。このとき、重複領域 **R12** において、 $f(s, K)$

は次のようになる。

$$\begin{aligned} f(s, g_1 K_1 + g_2 K_2) &= f_1(s, g_1 K_1 + g_2 K_2) + f_2(s) \\ &= g_1 f_1(s, K_1) + g_2 f_1(s, K_2) + f_2(s) \\ &= g_1 \{ f_1(s, K_1) + f_2(s) \} + g_2 \{ f_1(s, K_2) + f_2(s) \} \\ &= g_1 f(s, K_1) + g_2 f(s, K_2) \end{aligned} \quad (21)$$

すなわち、重複領域における固有方程式は、次のようになる。

$$\begin{aligned} g_1 |sI - A - BK_1| + g_2 |sI - A - BK_2| &= 0 \\ \therefore g_1 \Pi(s - \lambda_{1q}) + g_2 \Pi(s - \lambda_{2t}) &= 0 \end{aligned} \quad (22)$$

ここに、固有方程式 $f(s, K_1) = 0$ および $f(s, K_2) = 0$ の固有値をそれぞれ $\lambda_{1q}, \lambda_{2t} (q, t = 1, \dots, n)$ とし、また複素平面上のそれぞれの点を Q_{1q}, Q_{2t} とする。複素平面上の任意の点を Q とするとき、極座標を用いれば次のように表される。

$$s - \lambda_{1q} = |QQ_{1q}| e^{j\theta_{1q}} \quad (23)$$

$$s - \lambda_{2t} = |QQ_{2t}| e^{j\theta_{2t}} \quad (24)$$

ここに、 $|QQ_{1q}|$ および $|QQ_{2t}|$ は点 Q と点 Q_{1q} および点 Q_{2t} とのそれぞれの距離であり、 θ_{1q} および θ_{2t} は反時計方向を正とするそれぞれの位相である。点 Q が合成固有値の生ずる実軸上にあるとき、点 Q と複素固有値およびその共役複素固有値の点との位相の和は 2π 、点 Q と点 Q より右側にある実数固有値の点との位相は 0 、左側にある実数固有値の点との位相は π となる。ゆえに、点 Q_{1q} および点 Q_{2t} の中で点 Q より左側にある実数固有値の数をそれぞれ n_1, n_2 とすれば、(22) 式は次のようになる。

$$\begin{aligned} g_1 \Pi |QQ_{1q}| (-1)^{n_1} + g_2 \Pi |QQ_{2t}| (-1)^{n_2} &= 0 \\ \therefore g_1 &= \Pi |QQ_{2t}| (-1)^{n_2} / \{ \Pi |QQ_{2t}| (-1)^{n_2} \\ &\quad - \Pi |QQ_{1q}| (-1)^{n_1} \} \end{aligned} \quad (25)$$

$$g_2 = 1 - g_1 \quad (26)$$

すなわち、合成固有値(点 Q) がわかれば、合成固有ベクトルを生ずるメンバーシップ関数値 g_i が計算でき、フィードバック係数行列 K が求まる。ゆえに、(7) 式および(3) 式より合成固有ベクトルが計算される。

上述の合成固有値を生ずるメンバーシップ関数値の計算を用いて、重複領域内の原点を通る直線に漸近しながら行き過ぎ量が零で原点へ収束するシステムの設計方法について考える。簡単のため、スカラー操作量を持つ2次システムについて述べる。その手順は次のようになる。ただし、仕様として、合成固有値は与えられているものとする。

step.1 各領域の固有値を選ぶ。ただし、領域 **R1** の固有値は速応性のある複素根 λ_{1q} を、領域 **R2** の2個の実数固有値 λ_{2t} の内少なくともどちらかが負となるものを選ぶ。また、領域 **R3** の固有値は領域

R1 の固有値と同じとする。

step.2 各領域の固有値を複素平面上にプロットする。 $|QQ_{1q}|$ および $|QQ_{2t}|$ 計算し、(25)、(26) 式より g_1, g_2 を求める。

step.3 g_1, g_2 を用い、(7) 式および(9) 式あるいは(10) 式より m_c, m_1, m_2 を決める。

step.4 領域 **R0** およびその重複領域の大きさ(r_1, r_2) と、領域 **R0** のシステムの特性に従い K_0 を決める。

step.5 重複領域 **R23** について設計する。

重複領域 **R23** に生ずる合成ファーストベクトルは、行き過ぎ量が零で原点へ収束する初期値の領域を決めるのに必要である。

上述の方法は、合成固有値が与えられている場合である。もとのシステム方程式(1) 式が、可制御標準形の場合、重複領域でのシステム方程式も同じ形となる。また、固有ベクトルも固有値から求まるので、この場合は合成固有値を与えることは合成固有ベクトルを与えることと同じになる。すなわち上の設計手順において step.3 での合成固有ベクトルの計算は不必要となる。

[例題] 前述の可制御標準形のシステム(11) 式および初期値 $x(0) = [1 \ 0]^T$ に対し、合成固有値 $\lambda_c = -2.0$ (合成固有ベクトル $v_c = [1 \ -2.0]^T$) となるシステムを上の手順により設計する。ただし、従来の切り換えのないシステムと比較するために、フィードバック係数行列の要素に次の拘束条件を設ける。

$$|k_{ij}| \leq 3 \quad (i, j = 1, 2) \quad (27)$$

step.1 各領域の固有値を次のように選ぶ。

$$\begin{aligned} \text{領域 } \mathbf{R1}, \mathbf{R3} \quad \lambda_{11} &= -0.7 + 1.584j, \\ \lambda_{12} &= -0.7 - 1.584j \\ \text{領域 } \mathbf{R2} \quad \lambda_{21} &= 1.0, \lambda_{22} = -3.0 \end{aligned}$$

このときの各フィードバック係数行列は、次のようになる。

$$K_1 = [3.0 \ 1.4], K_2 = [-3.0 \ 2.0] \quad (28)$$

step.2 $|QQ_{11}| = |QQ_{12}| = 2.046, |QQ_{21}| = 3.0, |QQ_{22}| = 1.0$ 、また $n_1 = 0, n_2 = 1$ 。ゆえに、 $g_1 = 0.417, g_2 = 0.583$ となる。

step.3 $m_1 = 1.3, m_2 = 2.5$ と決める。

step.4 $r_1 = 0.1, r_2 = 0.2$ とし、領域 **R0** 内のフィードバック係数行列特性を $K_0 = [2.25 \ 3.0]$ (減衰係数 $\xi = 1.0$) とする。

step.5 $S_3 = [10 \ 1]$ とすれば、合成ファースト固有ベクトル $v_c = [1 \ -2.895]^T$ となる。

上のように設計されたシステムの応答を図6に示す。上の例題において、重複領域で固有値が重根となるときの固有ベクトルと状態の位置関係は、 $m_0 = -0.812$,

図6 例題のシミュレーション結果

$m = 1.76$ となり、 $-m < m_0$ なので合成固有ベクトルは(13)式の m_{c2} となる。

従来のフィードバック操作量に切り換えがなく、拘束条件(27)式を満たし、また上述の初期値 $x(0)$ に対し行き過ぎ量零で原点へ収束するシステムのフィードバック係数行列として $K = [2.25 \ 3.0]$ (減衰係数 $\xi = 1.0$) を選べば、このときのシステムの応答は図7のようになる。

5. おわりに

本論では、ファジィ制御理論を用いてシステムを設計したときのメンバーシップ関数の重複領域における特性について調べた。すなわち、各分割領域にスライディングモードを起こす線形システムを状態フィードバック操作量により指定し、さらに適当なメンバーシップ関数を用いれば、重複領域に軌道が収束する合成固有ベクトルが生ずることを示した。また、スカラー操作量を持つシステムに対し、与えられた合成固有値を持つシステムを各領域に配置されたシステムの固有値を用いて設計する方法を示した。また、例題により、領域 R2 の従来のファースト固有ベクトルとスロウ固有ベクトルの間に生ずる合成スロウ固有ベクトルを用いることにより、システムの特長改善ができることを示した。

本論では、線形システムを用いて設計する方法を述べたが、非線形システムを用いて全体を構成した場合については次の機会に述べる。また、合成固有ベクトルが与えられた場合の設計法についても検討中である。

図7 例題における応答比較

参考文献

- 1) 野波, 田: スライディングモード制御, コロナ社(1996)
- 2) 菅野道夫: ファジィ制御, 日刊工業新聞社(1988)
- 3) 田中一男: アドバンストファジィ制御, 共立出版(1994)
- 4) 松永, 川路: VSS 型ファジィ制御とロバスト性, 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.9, pp.1147-1155(1992)
- 5) 小松崎: 伝達関数で記述された制御系のファジィ分割を用いた設計法, 計測自動制御学会論文集, Vol.33, No.9, pp.890-896 (1997)
- 6) 渡辺: 平均値関数型推論によるファジィ制御器設計, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No.8, pp.1106-1113(1995)

(1998年10月8日 受付)

(1999年4月21日 再受付)

[問い合わせ先]

〒031-8501 八戸市妙字大開88-1

八戸工業大学食品工学研究所

小松崎 年雄

TEL: 0178-25-8037

FAX: 0178-25-6825

E-mail: komatsu@hi-tech.ac.jp

著者紹介

小松崎 年雄(にまつぎき としお)

八戸工業大学食品工学研究所

1972年 東北大学大学院研究科博士課程修了, 八戸工業大学工学部機械工学科を経て、現在同大学食品工学研究所教授、工学博士。おもにファジィ理論の制御系設計への応用に関する研究に従事。日本ファジィ学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会各会員

Characteristics of Fuzzy Control System in Membership Function's Overlap Region

by

Toshio KOMATSUZAKI

Abstract :

In this paper, we investigate the characteristics of the fuzzy control system in the membership function's overlap region. That is, first, we divide the state space and assign the system satisfying a condition in each divided region by the linear state feedback control. And, using the membership function defined in this paper, we infer the whole feedback control of the system by the fuzzy reasoning. Next, we show that this system has the composite eigenvector and eigenvalue in the membership function's overlap region. Then, we calculate the composite eigenvector for a two dimensional control system, and investigate the characteristics of the composite eigenvector. Lastly, we show a simple calculation method of the membership function values which produce the composite eigenvalue for the system with the scalar control. And, using this method, we propose a design method of the system which has the given composite eigenvalues.

Keywords : Fuzzy Control, Sliding Mode, Composite Eigenvector, Composite Eigenvalue, System Design Method

Contact Address : **Toshio KOMATSUZAKI**

Hachinohe Institute of Technology

88-1 Ohbiraki Hachinohe, 031-8501

TEL : 0178-25-8037

FAX : 0178-25-6825

E-mail : komatsu@hi-tech.ac.jp