

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2625966号

(45)発行日 平成9年(1997)7月2日

(24)登録日 平成9年(1997)4月11日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02			G 0 5 B 13/02	N
G 0 6 F 9/44	5 5 4		G 0 6 F 9/44	5 5 4 K

請求項の数6 (全 10 頁)

(21)出願番号	特願昭63-240374	(73)特許権者	999999999 オムロン株式会社 京都府京都市右京区花園土堂町10番地
(22)出願日	昭和63年(1988)9月26日	(72)発明者	久野 敦司 京都府京都市右京区花園土堂町10番地 立石電機株式会社内
(65)公開番号	特開平2-89102	(74)代理人	弁理士 小森 久夫
(43)公開日	平成2年(1990)3月29日	審査官	栗林 敏彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ファジィルール学習装置およびファジィルール学習方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価に寄与したファジィルールの重みは増大させ、悪い評価に寄与したファジィルールの重みは減少させることによって、ファジィ推論によって生成される確定値の評価が良くなる方向に、ファジィルールの重みを自動調整する調整手段と、
を具備するファジィルール学習装置。

【請求項2】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出する

2

ルール抽出手段と、
前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出されたファジィルールの重みを増加させ、悪い評価を与えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出されたファジィルールの重みを減少させる重み調整手段と、
を具備するファジィルール学習装置。

【請求項3】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、
10 後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出するルール抽出手段と、
前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出さ

れたファジィルールの重みを増加させ、ルール抽出手段によって抽出されたファジィルール以外のファジィルールの重みを減少させる重み調整手段と、を具備するファジィルール学習装置。

【請求項 4】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成し、この確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価に寄与したファジィルールの重みは増加させ、悪い評価に寄与したファジィルールの重みは減少させ、ファジィ推論によって生成される確定値の評価が良くなる方向に、ファジィルールの重みを自動調整することを特徴とするファジィルール学習方法。

【請求項 5】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成し、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出するとともに、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジィルールの重みを増加させ、悪い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジィルールの重みを減少させることを特徴とするファジィルール学習方法。

【請求項 6】複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成し、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出するとともに、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジィルールの重みを増加させ、前記抽出手段によって抽出されたファジィルール以外のファジィルールの重みを減少させることを特徴とするファジィルール学習方法。

【発明の詳細な説明】

〔産業上の利用分野〕

この発明はファジィコンピュータやファジィコントローラにおけるファジィルールの学習装置に関する。

〔従来の技術〕

従来のファジィルール学習装置において、メンバーシップ関数を次のような方法で自動生成するものが知られている。ファジィ変数 x を確率変数とみなして、ファジィ変数が x をとる確率密度関数 $p(x)$ を、サンプルデータの統計処理によって生成する。 $p(x)$ は客観的あいまい性を表現するものであって、ファジィ理論において取り扱う主観的あいまい性とは異なったものである。しかし、 $p(x)$ をファジィ推論でいうメンバーシップ関数であるとみなして処理しても良好な結果が得られることが多い。このような学習が従来のファジィ学習装置における学習の方法であった。

〔従来技術の問題点〕

このような、従来のファジィ学習装置においては次のような問題点があった。

(1) メンバーシップ関数の生成において、その関数の良否を示すデータが使用されておらず、単に出現頻度の分布をメンバーシップ関数とするだけであるので、必ずしも良好な結果をもたらすメンバーシップ関数が得られるとは限らない。(2) ファジィ推論の結果の良否にもっとも大きな影響を与えるファジィルールの検出ができていなかったため、効果の大きな学習ができなかった。

〔発明が解決しようとする課題〕

10 この発明は、このような従来技術の問題点に着目してなされたものであり、次の課題を解決するものである。すなわち、ファジィ推論によって得られる確定値の評価に応じて、その確定値の生成に最大の影響を与えたファジィルールの重みを変化させて、ファジィ推論をより良好にできるようにファジィ推論の過程を調整することを、課題とする。

〔課題を解決するための手段〕

上記課題を解決するために、

20 本出願の請求項 1 のファジィルール学習装置は、複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価に寄与したファジィルールの重みは増大させ、悪い評価に寄与したファジィルールの重みは減少させることによって、ファジィ推論によって生成される確定値の評価が良くなる方向に、ファジィルールの重みを自動調整する調整手段と、を具備することを特徴とする。ここで「重み」とは、ファジィ推論の実行前にファジィルールごとに与えられる値であって、そのファジィルールの後件部メンバーシップ関数の最大値を規定する量である。以下の請求項においても同様である。

30 本出願の請求項 2 のファジィルール学習装置は、複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出するルール抽出手段と、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出されたファジィルールの重みを増加させ、悪い評価を与えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出されたファジィルールの重みを減少させる重み調整手段と、を具備することを特徴とする。

40 本出願の請求項 3 のファジィルール学習装置は、複数のファジィルールを用いたファジィ推論によって確定値を生成するファジィ推論手段と、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジィルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジィルールを抽出するルール抽出手段と、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与

えられた場合には前記ルール抽出手段によって抽出されたファジイルールの重みを増加させ、ルール抽出手段によって抽出されたファジイルール以外のファジイルールの重みを減少させる重み調整手段と、を具備することを特徴とする。

本出願の請求項 4 のファジイルール学習方法は、複数のファジイルールを用いたファジイ推論によって確定値を生成し、この確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価に寄与したファジイルールの重みは増加させ、悪い評価に寄与したファジイルールの重みは減少させ、ファジイ推論によって生成される確定値の評価が良くなる方向に、ファジイルールの重みを自動調整することを特徴とする。

本出願の請求項 5 のファジイルール学習方法は、複数のファジイルールを用いたファジイ推論によって確定値を生成し、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジイルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジイルールを抽出するとともに、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジイルールの重みを増加させ、悪い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジイルールの重みを減少させることを特徴とする。

本出願の請求項 6 のファジイルール学習方法は、複数のファジイルールを用いたファジイ推論によって確定値を生成し、後件部メンバーシップ関数の前記確定値の近傍におけるメンバーシップ値を各ファジイルールごとに求め、最大のメンバーシップ値を有するファジイルールを抽出するとともに、前記確定値に対する評価を外部から受けて、良い評価を与えられた場合には前記抽出されたファジイルールの重みを増加させ、前記抽出手段によって抽出されたファジイルール以外のファジイルールの重みを減少させることを特徴とする。

〔発明の効果〕

請求項 1 のファジイルール学習装置および請求項 5 のファジイルール学習方法によれば、ファジイ推論手段によって得られる確定値を外部から受けた評価に基づいて、良い評価に寄与したファジイルールの重みを増加させ悪い評価に寄与したファジイルールの重みを減少させるようにして、ファジイ推論によって生成される確定値の評価が良くなる方向に、ファジイルールの重みがその寄与度に応じて自動的に調整され、ファジイ推論の出力である確定値の信頼度が向上し、良い評価を受けるものを容易に得ることができるようになる。

請求項 2 のファジイルール学習装置および請求項 5 のファジイルール学習方法によれば、確定値に最も寄与したファジイルールを抽出し、この確定値に対する評価に応じて該ルールの重みを増加させ、または、減少させるようにしたことにより、推論結果に大きな影響をもつファジイルールを選択してその重みを調整することがで

き、的確に素早くファジイルールの重み分布を適切なものに行うことができる。

請求項 3 のファジイルール学習装置および請求項 8 のファジイルール学習方法によれば、確定値に最も寄与したファジイルールを抽出し、この確定値が良い評価であったとき該ルールの重みを増加させ、他のファジイルールの重みを減少させるようにしたことにより、良い評価が得られた推論結果に大きく寄与したファジイルールの相対的な重みを急激に増大でき、さらに素早くファジイルールの重み分布を適切なものに変更することができる。

〔実施例〕

第 1 図はファジイルール学習装置の電気的構成を示すブロック図である。R1, R2, R3 はそれぞれファジイルールを評価してメンバーシップ関数を出力するルール評価部である。M1, M2, M3 は、メンバーシップ関数を増幅や減衰させる調節器である。1 は入力される複数のメンバーシップ関数を MAX 合成するとともに、デファジファイアーの出力する確定値において最大のメンバーシップ値を与えるファジイルール番号を生成する MCMAX 回路である。

2 は、ファジイ推論の結果の確定値に対する評価値とドミナントルール番号に基づいて各調節器に対する調節係数を生成する調節器制御部である。3 は MCMAX 回路 1 の出力するメンバーシップ関数の重心位置を算出して確定値として出力するデファジファイアーである。

第 2 図は、調節器 M1 の電気的構成を示すブロック図である。他の調節器 M2, M3 も M1 と同様の構成である。MQ1 は調節器 M1 に入力されるメンバーシップ関数に対する増幅率を与える調節係数を、たくわえるための調節係数レジスタである。VA1, VA2, ..., VAN はそれぞれ調節係数レジスタ MQ1 から入力される調節係数に応じた増幅率で増幅を行なう増幅率可変型増幅器である。

第 3 図は外部からデファジファイアー 3 の出力する確定値に対する評価値と、MCMAX 回路が出力するドミナントルール番号を受けて、デファジファイアー 3 の出力する確定値の評価が良くなるような調節係数を生成する調節器制御部の電気的構成を示すブロック図である。4 は調節器制御部の処理を統括する CPU である。5 は CPU4 にバスを通じて接続され、データを格納したり、ワーク用に使用される RAM である。6 は CPU4 にバスを通じて接続されプログラムやデータを格納した ROM である。7 はバスを通じて CPU4 に接続された出力インタフェースである。8 は、CPU4 にバスを通じて接続された入力インタフェースである。

第 4 図は、調節器 M1, M2, M3 の出力するメンバーシップ関数を受けて MAX 合成したメンバーシップ関数を生成するとともに、デファジファイアー 3 が出力する確定値におけるメンバーシップ値を、調節器 M1, M2, M3 の出力する各メンバーシップ関数について求め、最大のメンバーシップ値を与えるファジイルールの番号を生成する MCMAX

回路のブロック図である。9は、調節器M1,M2,M3の出力するメンバーシップ関数を受けてMAX合成したメンバーシップ関数を生成するCMAX回路である。10は、デファジファイアー3の出力する確定値についてのメンバーシップ値を、調節器M1,M2,M3の出力する各メンバーシップ関数について求め、最大のメンバーシップ値を与えるメンバーシップ関数に対応するファジイルールの番号を生成するドミナントルール検出部である。

第5図は、ドミナントルール検出部10の電気的構成を示すブロック図である。11はデファジファイアー3の出力する確定値をA/D変換するA/D変換器である。12はA/D変換器11の出力をラッチするラッチ回路である。13,14,15はラッチ回路12の出力データに応じて、入力メンバーシップ関数を与える信号ラインの中から1本を選択して出力するアナログマルチプレクサである。16,17,18はA/D変換器であり、それぞれアナログマルチプレクサ13,14,15の出力信号をA/D変換する。19は最大位置検出部であり、A/D変換器16,17,18の出力をうけて、最大値を与える入力の番号を生成して出力するものである。

第6図はファジイ推論過程において、各ファジイルールが出力したメンバーシップ関数が、調節を受けた後に合成され、デファジファイされて確定値が生成されるまでの過程を示す図である。

$$n = \begin{cases} 1 : d_1 \geq \max(d_2, d_3) \\ 2 : d_2 > \max(d_1, d_3) \\ 3 : d_3 > \max(d_1, d_2) \end{cases} \quad (1)$$

次に、ファジイルール学習装置の動作を第1図を中心に説明する。まず、ファジイルール学習装置に対して、制御対象の状態を表す信号Vが入力される。Vは各ファジイルールを評価するルール評価部R1,R2,R3によって評価される。そして、各ルールに応じたメンバーシップ関数A1,A2,A3が、R1,R2,R3から出力される。ルール評価部が出力した各メンバーシップ関数A1,A2,A3は、それぞれ対応する調節器M1,M2,M3に入力されて、各々B1,B2,B3というメンバーシップ関数に変換される。この変換は、次式によって表わせる。

$$B1 = K1 \cdot A1 \quad (2)$$

$$B2 = K2 \cdot A2 \quad (3)$$

$$B3 = K3 \cdot A3 \quad (4)$$

ここで、K1,K2,K3は調節器制御部2から、前回において与えられた増幅率であり、この発明における「重み」に対応するものである。各調節器M1,M2,M3は第2図に示すM1と同一の構造をしており、内部に増幅率を記載する調節係数レジスタを内蔵している。M1においては、MQ1の出力によってN個の増幅器VA1,VA2,...,VANの増幅率が制御される。このようにして生成されたメンバーシップ関数B1,B2,B3はCMAX回路1に入力されて、MAX合成されてメンバーシップ関数Cが出力される。ここまでの過程

* 上記で説明した図を用いて、特許請求の範囲に記載のファジイルール学習装置およびドミナントルール検出装置について、その動作を説明する。まず、第5図で示されるドミナントルール検出部の動作について説明する。

ドミナントルール検出部には、デファジファイアー3からの確定値e*が入力され、A/D変換器11によってデジタル量eAに変換される。このeAは、デジタル変換時の量子化誤差等の影響によりe*と完全に一致した値にはならない。すなわち、eAはe*の近傍の値となる。この値はラッチ回路12によってラッチされる。ラッチ回路12の出力eAは、各アナログマルチプレクサの入力となるメンバーシップ関数b1,B2,B3を構成する信号ラインの中から、それぞれ1本の信号ラインを指定する。各アナログマルチプレクサ13,14,15は、eAによって指定された番号の信号ラインを、メンバーシップ関数B1,B2,B3を構成する信号ラインの中から選択して、それぞれb1,b2,b3として出力する。b1,b2,b3上には、メンバーシップ関数B1,B2,B3の値e*におけるメンバーシップ値を表す電圧信号が乗っている。メンバーシップ値を表すアナログ信号b1,b2,b3は、それぞれA/D変換器16,17,18に入力されて、デジタル信号d1,d2,d3に変換されて、最大位置検出部19に入力される。最大位置検出部では、次の演算によってドミナントルール番号nを生成して出力する。

におけるメンバーシップ関数の変換は第6図に示すとおりである。CMAX回路の出力メンバーシップ関数Cは、デファジファイアー3に入力される。デファジファイアー3では、メンバーシップ関数の重心位置e*を算出する。デファジファイアー3の出力e*は、CMAX回路1に入力される。CMAX回路1には、第4図に示すようにドミナントルール検出部10設けられている。e*とB1,B2,B3はドミナントルール検出部10に入力される。ドミナントルール検出部10では、前述した方法によって、ドミナントルール番号nを生成して、調節器制御部2に入力される。調節器制御部2には、上記nの他に外部からe*についての評価値qが入力される。この評価値qは、たとえばe*による制御対象の整定時間の評価値でもよいし、自動生成が可能である。nとqの入力をうけた調節器制御部は、たとえば次のようなロジックによって、調節器M1,M2,M3に対する調節係数K1,K2,K3を生成する。ここで、q=1のときe*が良を表し、q=0のときe*が不良を表す。

$$(1) \quad q = 1 \text{ かつ } n = 1 \text{ のとき}$$

$$K1 = \min(\text{MAXK}, K1 + \text{DELTA})$$

$$K2 = \max(\text{MINK}, K2 - \text{DELTA})$$

$$K3 = \max(\text{MINK}, K3 - \text{DELTA})$$

- (2) $q = 1$ かつ $n = 2$ のとき
 $K1 = \text{MAX}(\text{MINK}, K1 - \text{DELTA})$
 $K2 = \text{MIN}(\text{MAXK}, K2 + \text{DELTA})$
 $K3 = \text{MAX}(\text{MINK}, K3 - \text{DELTA})$
- (3) $q = 1$ かつ $n = 3$ のとき
 $K1 = \text{MAX}(\text{MINK}, K1 - \text{DELTA})$
 $K2 = \text{MAX}(\text{MINK}, K2 - \text{DELTA})$
 $K3 = \text{MIN}(\text{MAXK}, K3 + \text{DELTA})$
- (4) $q = 0$ かつ $n = 1$ のとき
 $K1 = \text{MIN}(\text{MAXK}, K1 - \text{DELTA})$
- (5) $q = 0$ かつ $n = 2$ のとき
 $K2 = \text{MIN}(\text{MAXK}, K2 - \text{DELTA})$
- (6) $q = 0$ かつ $n = 3$ のとき
 $K3 = \text{MIN}(\text{MAXK}, K3 - \text{DELTA})$

ここで、 $\text{MAXK} > \text{MINK}$, $\text{MAXK} - \text{DELTA}$ である。このロジックによって良い結果を与えるドミナントルールと出力は大きく増幅され、悪い結果を与えるドミナントルールの出力は小さく増幅される。

*

* ただし、 $\text{MINK} = 0$ である。

【図面の簡単な説明】

第1図はファジイルール学習装置の電気的構成を示すブロック図である。

第2図は調節器M1の電気的構成を示すブロック図である。

第3図は調節器制御部の電気的構成を示すブロック図である。

第4図はMCMAX回路のブロック図である。

10 第5図はドミナントルール検出部のブロック図である。

第6図はファジイ推論過程の説明図である。

R1,R2,R3:ルール評価部

M1,M2,M3:調節器

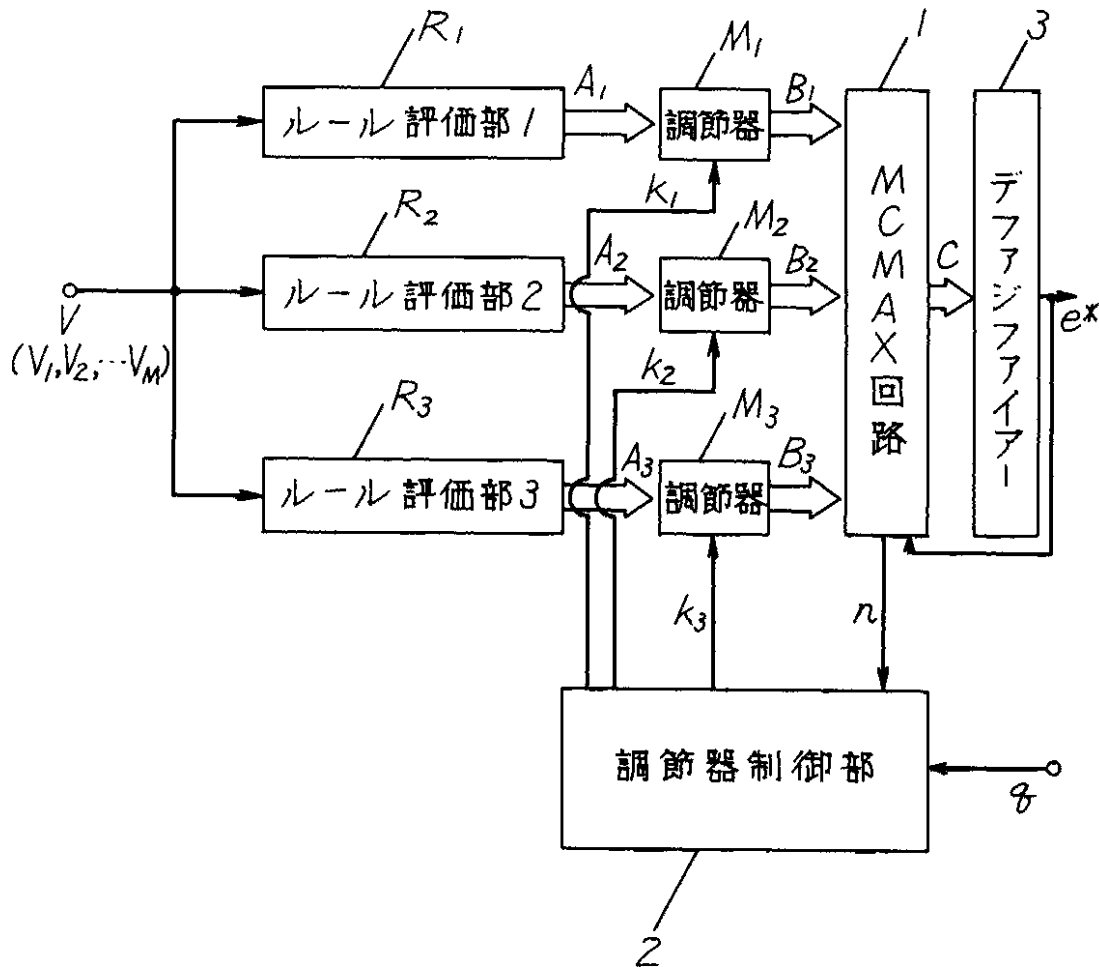
1:MCMAX回路

2:調節器制御部

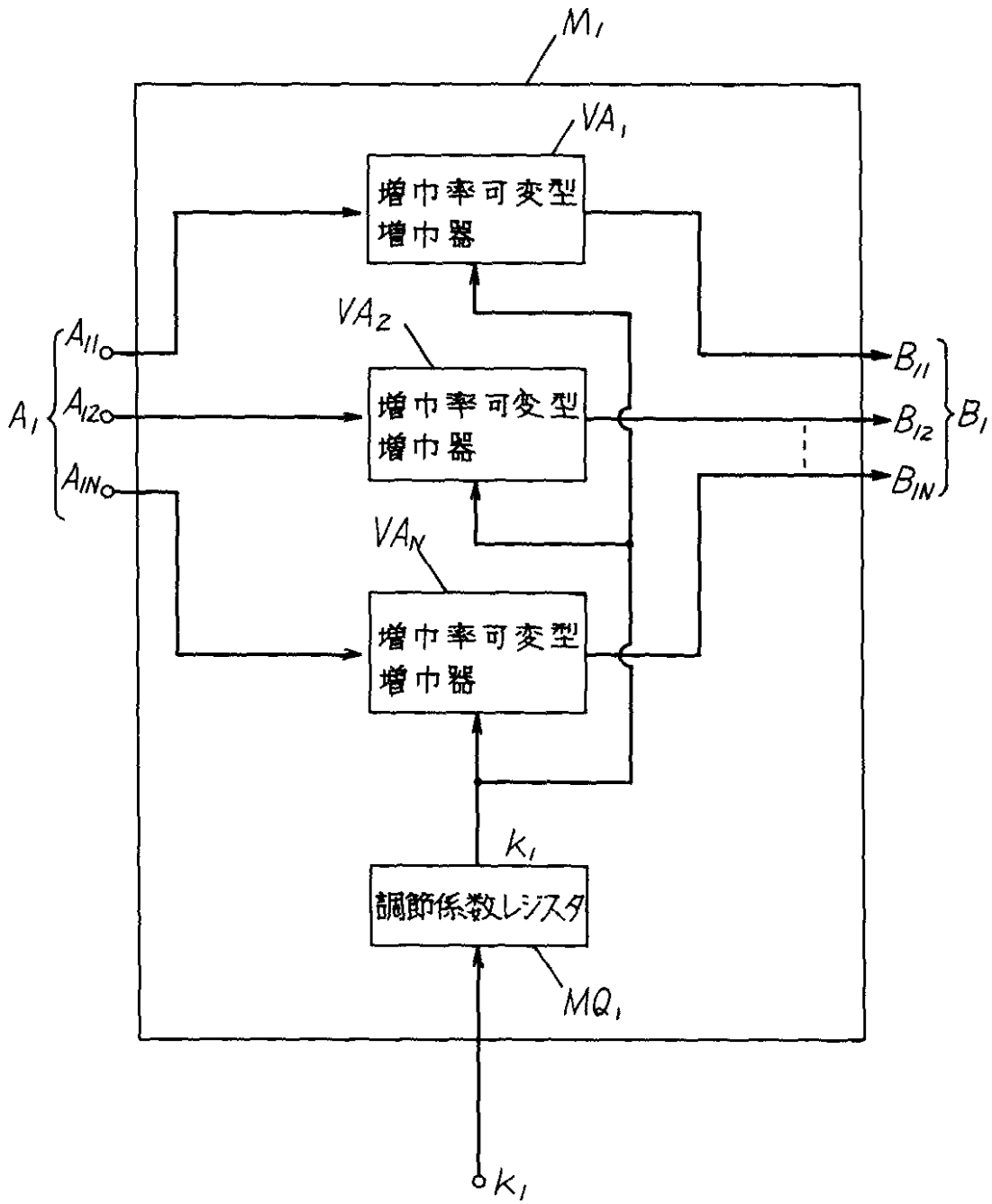
3:デファジファイアー

10:ドミナントルール検出部

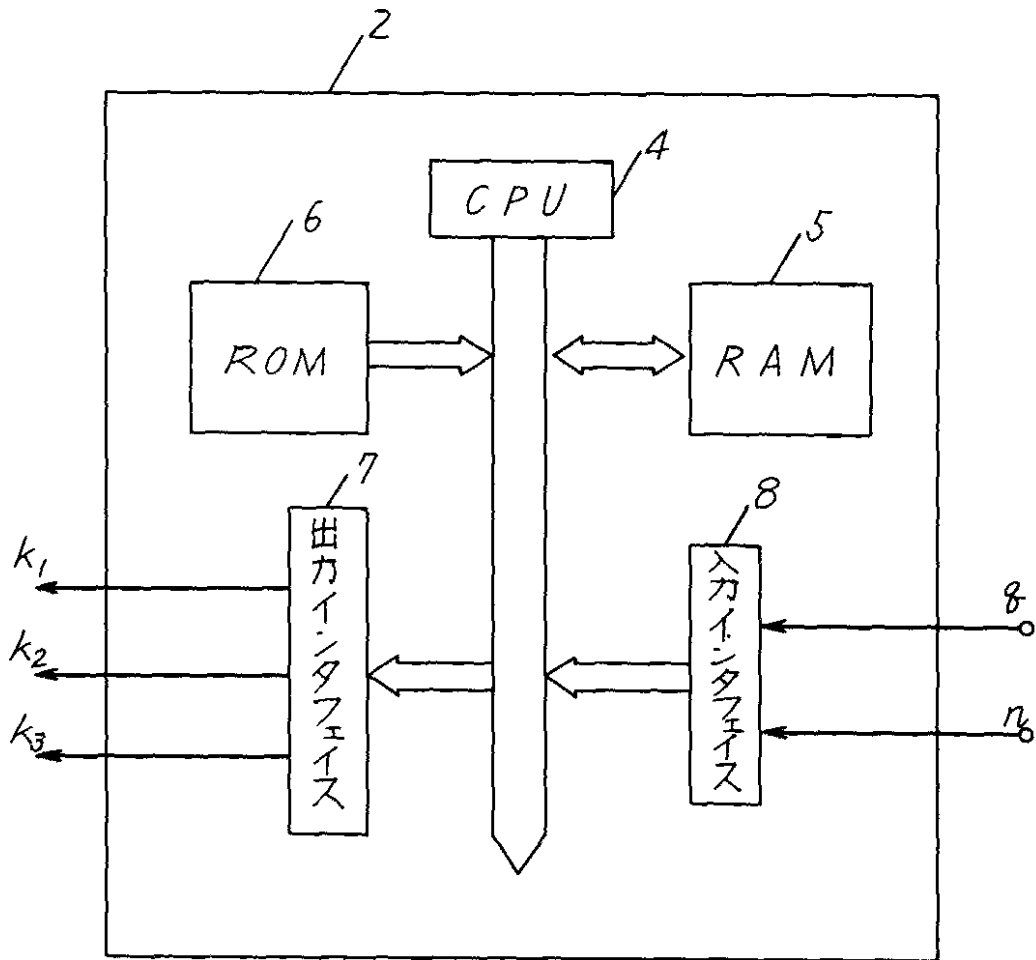
【第1図】



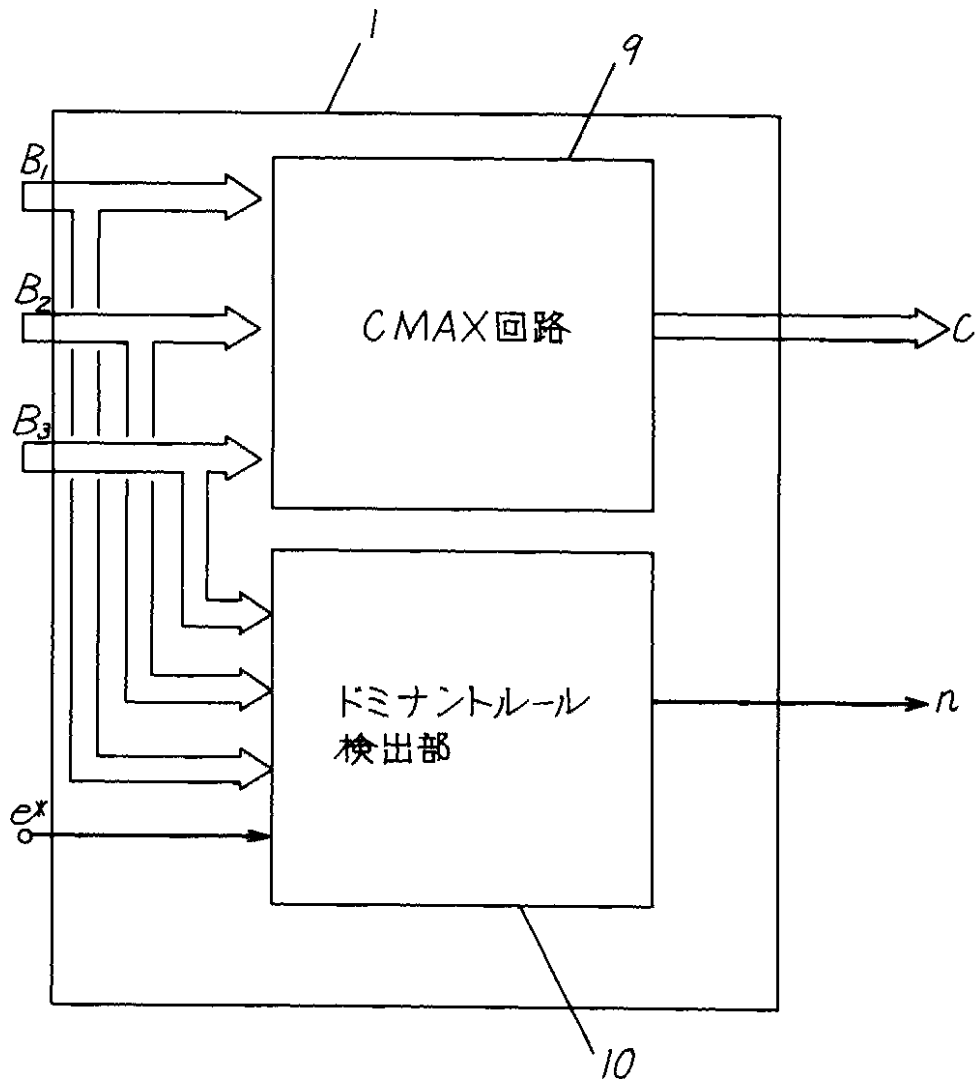
【第 2 図】



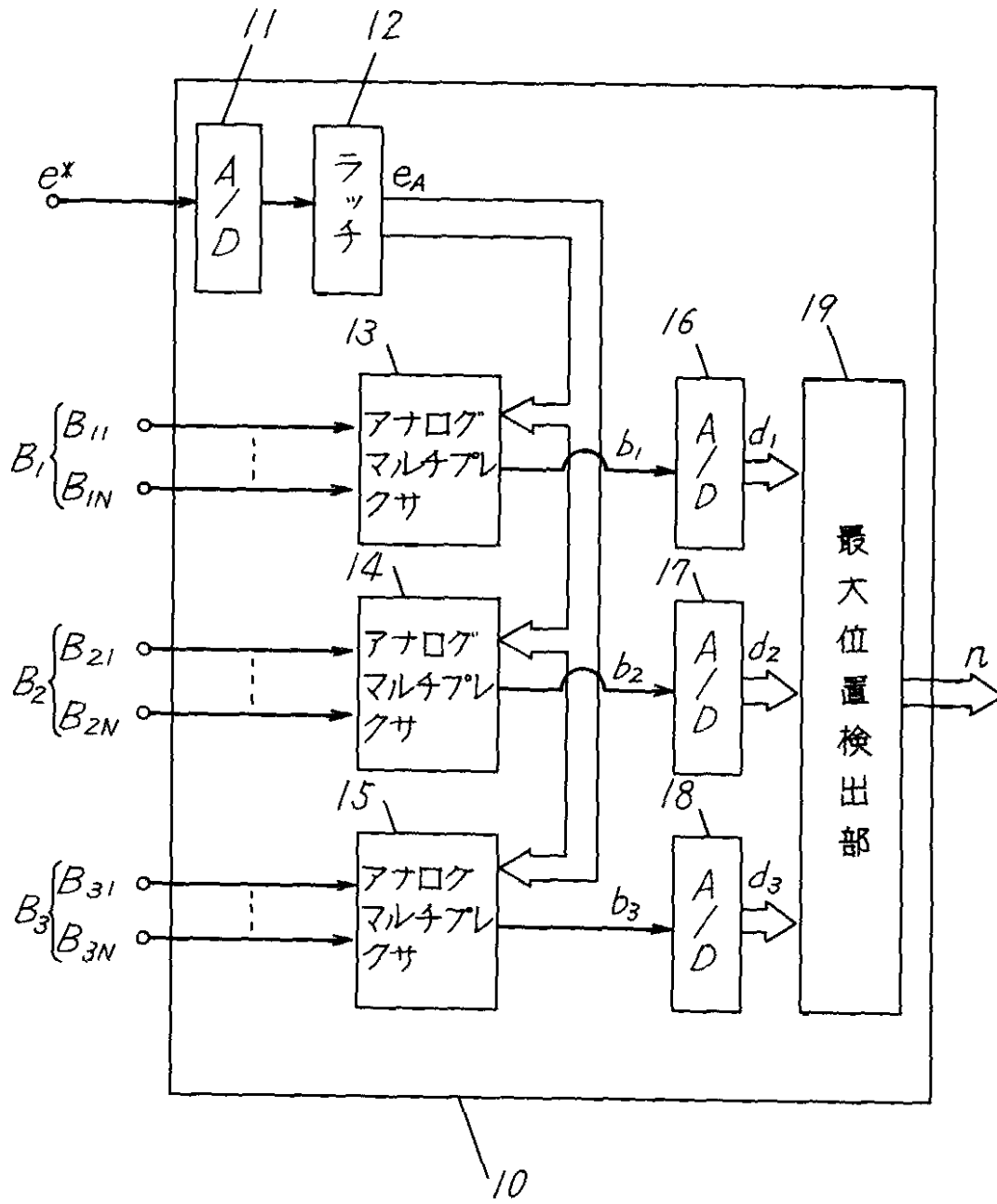
【第3図】



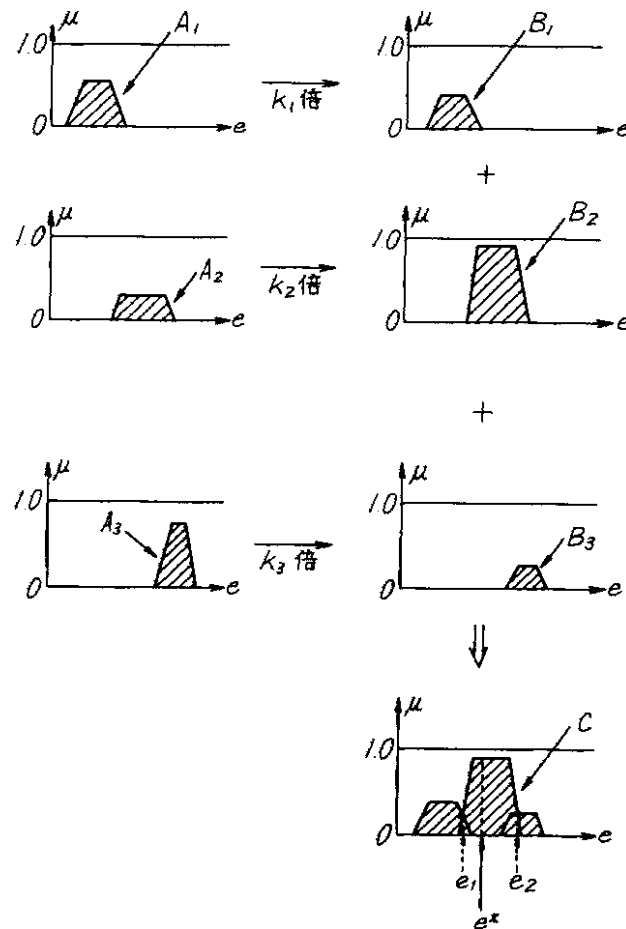
【第4図】



【第5図】



【第6図】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 昭62 - 293401 (J P , A)
 特開 昭63 - 279302 (J P , A)
 特開 平 2 - 138603 (J P , A)
 計測自動制御学会論文集24〔2〕(昭
 63 - 2)、計測自動制御学会、前田幹
 夫、村上周太「自己調整ファジィコント
 ローラ」P. 191 - 197
 数理科学〔284〕(昭62 - 2)、伊藤
 修「ファジィコントローラ」P. 55 - 62