

# 簡略ファジィ推論装置の設計

古川 万寿夫

## The design of an instrument for the simplified fuzzy reasoning method.

Masuo FURUKAWA

This paper shows design of an instrument employing digital IC and analog IC for the simplified fuzzy reasoning method. The instrument designed in this paper, can infer an analog output from two 6bits-digital inputs by the simplified fuzzy reasoning method. Seven rules which can be selected from forty-nine rules is used for an inference.

### 1. はじめに

1965年に L. A. Zadeh によって提唱されたファジィ理論<sup>(1)</sup>は、その制御分野への適用によって発展を遂げてきた。ファジィ制御の特徴は、熟練オペレータの経験や知識を記述したファジィ制御ルールを使って、熟練者と同程度のファジィ制御を行うところにある。

ファジィ制御の入出力関係はファジィ推論によって決定する。現在、ファジィ推論には min-max 推論法<sup>(2)</sup>が最もよく使われている。しかし、min-max 法は必ずしも直観にあった方法でないことが指摘され、種々のファジィ推論法が提案されている。その中でも簡略ファジィ推論法<sup>(3)</sup>は、後件部がファジィ集合でなく定数であるので後件部ファジィ集合の形状を考える必要がなく、処理速度が格段に早くなる。今後、ファジィ制御法の主流になるものと考えられている<sup>(4)</sup>。

本研究では、簡略ファジィ推論をハードウェアで行う 2 入力 1 出力の簡略ファジィ推論装置を設計した。本推論装置の入力はマイクロプロセッサとの親和性を考え、デジタル値入力とした。また、出力はアクチュエータ等の駆動回路へ直接入力できるように、アナログ値出力とした。そして、前件部および後件部はデジタル回路で、デファジフיקーション部はアナログ回路で構成することで、推論回路の単純化および高速化を図ることができた。

### 2. 簡略ファジィ推論

$x_1, x_2, z$  をファジィ変数,  $A_i, B_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) をファジィ集合,  $Z_1$  をシングルトンファジィ集合とし,  $n$  個のルールがあるとすると, 事実として実数  $(x, y)$  が入力され結論  $z_0$  が出力される簡略ファジィ推論は次のように記述できる。

Rule 1 : If  $x_1$  is  $A_1$ ,  $x_2$  is  $B_1$  then  $z$  is  $Z_1$

Rule 2 : If  $x_1$  is  $A_2$ ,  $x_2$  is  $B_2$  then  $z$  is  $Z_2$

---

\* 電気工学科 助手  
原稿受付 平成4年10月1日

$$\begin{array}{c} \vdots \\ \text{Rule } n : \text{ If } x_1 \text{ is } A_n, x_2 \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } Z_n \\ \text{Facts : } x_1 \text{ is } x, x_2 \text{ is } y \end{array}$$


---

Conclusion :  $z_0$

各規則の前件部  $A_i$  および  $B_i$  と事実  $(x, y)$  との適合度は

$$h_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad (1)$$

もしくは

$$h_i = \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y) \quad (2)$$

で与えられる。これは、 $x, y$  が与えられたときに結論  $Z_i$  が得られる度合いが  $h_i$  であることを示している。これより推論の結論  $z_0$  は  $Z_i$  を  $h_i$  で荷重平均することで、

$$z_0 = \frac{Z_1 h_1 + Z_2 h_2 + \dots + Z_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (3)$$

として得られる。

### 3. 設計仕様

表1に本推論装置の仕様を示す。前件部をデジタル回路で構成することを考えて、簡略推論の適合度  $h_i$  の計算式は(2)式の  $\min$  演算を選んだ。入力には6bit デジタル値とし、また、入力数は2とした。結論を得るための荷重平均の回路は、単純化および高速化するためアナログ回路で構成した。出力は、推論装置の出力に接続するアクチュエータ駆動回路に接続しやすいようアナログ値とした。

前件部メンバーシップ関数は1ラベルあたり16個の台を持つ。グレード値は3bitで、0～7の値を表現する。

表1 簡略ファジィ推論装置の設計仕様

推論方法	簡略ファジィ推論法
ルール数	7 ルール
入力	6bit digital × 2本
出力	アナログ出力 × 1本
前件部ラベル数	7 ラベル
前件部メンバーシップ台幅	16 / 1 ラベル
前件部グレード値	0～7 (3bit)

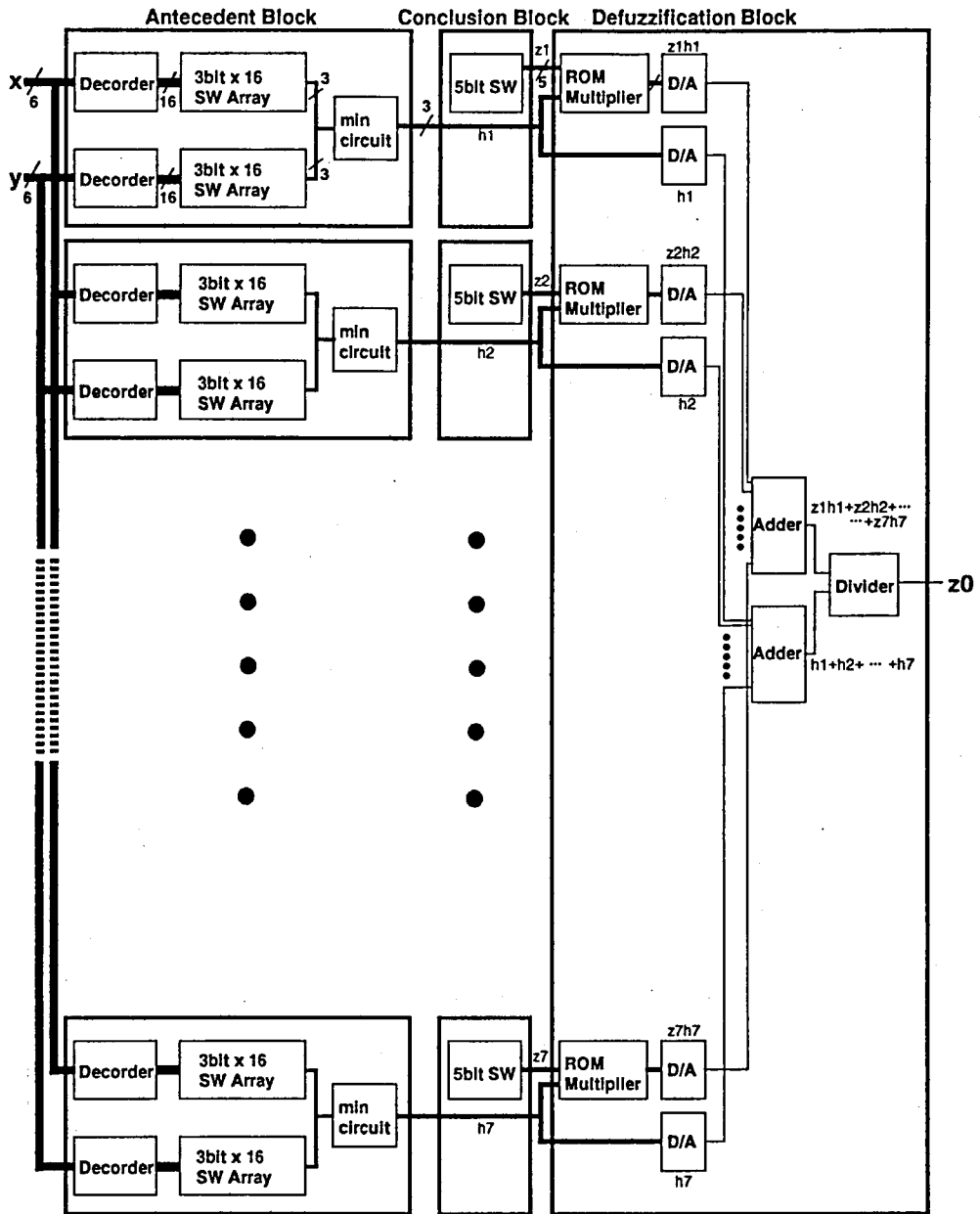


図1 簡略ファジィ推論装置の構成

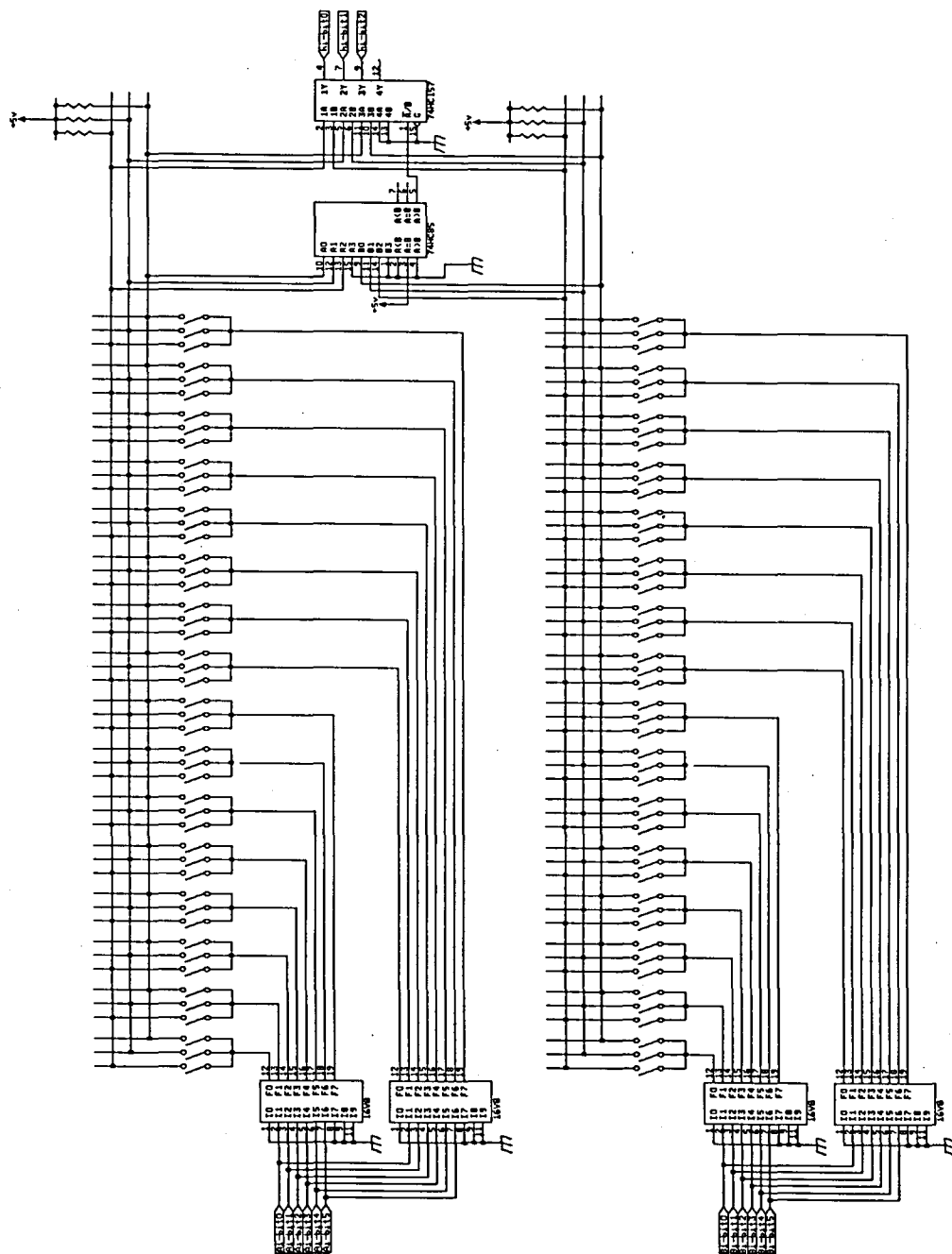


図2 前件部ブロックの回路

### 4. 簡略ファジィ推論装置

#### 4-1. 構成

図1に全体の構成を示す。本推論装置は(1)前件部ブロック(2)後件部ブロックおよび(3)デファジィケーションブロックから構成される。

#### 4-2. 前件部ブロックの回路

図2に1ルール分の前件部ブロックの回路図を示す。前件部ブロックでは入力とルールとの適合度  $h_i$  を求める。

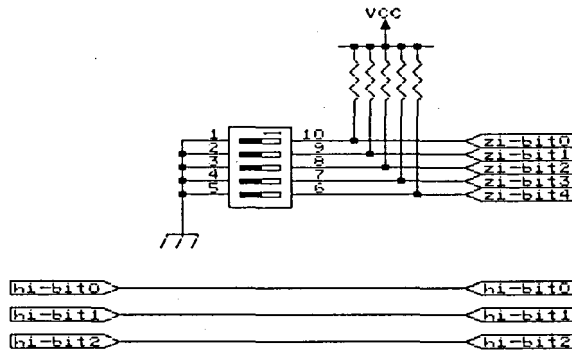


図3 後件部ブロックの回路

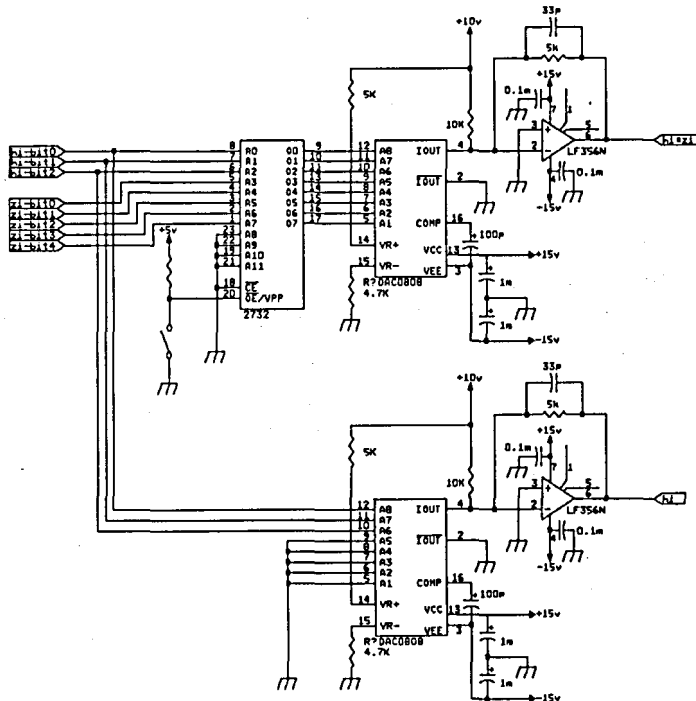


図4 (a) デファジィケーションブロックの積演算とD/A変換回路

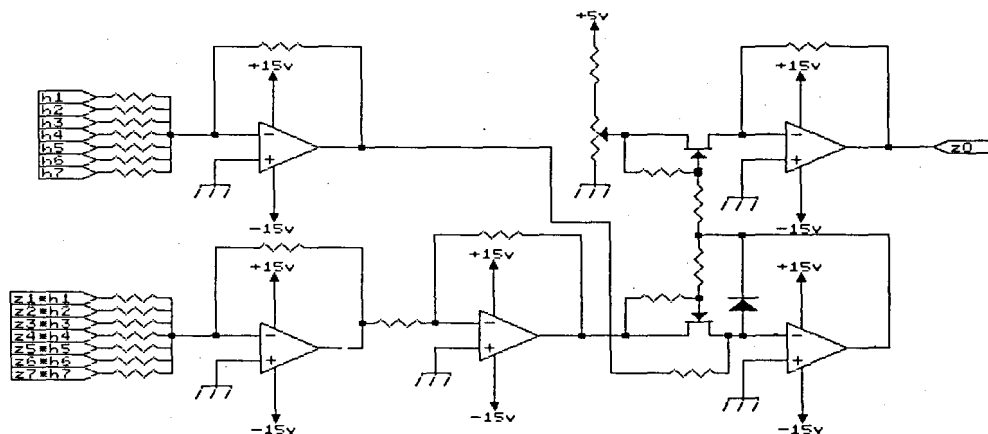


図4 (b) デファジフィケーションブロックの加重平均回路

1 ラベルあたり16個の3bit SWアレイに前件部のメンバーシップ関数の形状を記憶しておく。入力されたデジタル値はデコーダ3bitのSWアレイによって、ラベル  $A_i$  または  $B_i$  との適合度  $\mu_{A_i}$  と  $\mu_{B_i}$  にそれぞれ変換される。そして  $\mu_{A_i}$  と  $\mu_{B_i}$  は min 回路に導かれルールとの適合度  $h_i$  が計算される。

#### 4-3. 後件部ブロックの回路

図3に後件部ブロックの回路図を示す。後件部ブロックでは  $h_i$  で頭切りした後件部メンバーシップの高さと位置を出力する。

前件部ブロックの出力が後件部のシングルトンメンバーシップの高さを示しているので、高さについて処理する回路は必要ない。したがって、前件部出力の  $h_i$  がそのまま後件部のメンバーシップの高さの出力となる。メンバーシップの位置は、5bitのSWによって設定された値を出力する。

#### 4-4. デファジフィケーションブロック

図4(a)(b)にデファジフィケーションブロックの回路図を示す。このブロックでは(3)式の荷重平均の計算を行い、結論のアナログ値  $z_0$  を出力する。

(3)式の分子は、 $h_i$  と  $Z_i$  のデジタル値をROMのLook-upテーブル方式によって積  $h_i z_i$  を求めた後、その積をD/A変換しアナログ回路で加算することで計算する。一方分母は、 $h_i$  をD/A変換し、アナログ回路で加算する。最後にOP-AMPとFETで構成した除算器によって分子を分母で割ることで推論結果が得られる。

## 5. ま と め

本研究では、簡略ファジィ推論をハードウェアで行うデジタル2入力/アナログ1出力の簡略ファジィ推論装置をデジタルICとアナログICを混用して設計した。その結果、本推論装置の入力はデジタルシステムとの親和性を、また、出力はアクチュエータ等のアナログ系駆動回路との親和性を備えることができた。デジタルICとアナログICを混用したため、デファジフィケーションブロックにおいて荷重平均の計算回路を単純化することができた。

今後、本推論装置を試作し、ファジィ制御などに応用して行く予定である。

### 参 考 文 献

- (1) L. A. Zadeh : Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp.338-353 (1965)
- (2) E. H. Mamdani : Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEE, 121-12, pp.1585-1588 (1974)
- (3) 前田幹夫, 村上周太 : 自己調整ファジィコントローラ, 計測自動制御学会論文集, 24, 2, pp. 191-197 (1988)
- (4) 水本雅晴 : 最近のファジィ制御法, 数理科学, No.333, pp.20-26 (1991)