

α-레벨집합 분해에 의한 서보시스템용 퍼지추론과 하드웨어

홍순일, 안영주, 김정환, 이요섭
부경대학교 전기·제어계측 공학부

A Fuzzy Resoning for Servo System by α-Level Set Decomposition and Hardware Implementation

S.I. Hong, Y.J. An, J.H. Kim, Y.S. Lee
Pu-kung University

ABSTRACT

In this paper, we propose a calculation method for fuzzy control based on quantized α-cut decomposition of fuzzy sets. This method is easy to be implemented in analog hardware. The effect of quantization levels on defuzzified fuzzy inference result is investigated. A few quantization levels are sufficient for fuzzy control. The hardware implementation of this calculation method and the defuzzification by gravity center method by PWM are also presented.

1. 서 론

퍼지제어에서 퍼지추론 연산은 소프트웨어적으로 행하는 경우가 많지만 소프트웨어적으로 처리하는 경우는 연산시간이 소요되므로 서보계 등 응답속도가 빠른 것을 대상으로 한 시스템에는 적절하지 않다. 따라서 퍼지제어기를 하드웨어적으로 실현할 필요가 있다.

퍼지이론의 하드웨어화는 크기 분할에서 디지털 회로에 의한 것과 아날로그 회로에 의한 것이 있다. 본 연구에서는 소속함수 값을 양자화하여 퍼지집합을 α-컷 집합으로 분해하여 추론 계산을 행하는 계산식을 나타내었다. 퍼지 알고리즘에 의한 서보 제어계의 시뮬레이션을 실행하여 α-레벨 양자화 영향에 대한 평가를 한다. α-레벨 집합 분해에 기초한 퍼지 추론 및 비퍼지화를 행하는 연산회로의 구성법을 검토하였다.

2. α-레벨 집합에 의한 퍼지제어계산

입력 e와 Δe가 주어지면 α-컷 집합 분해

원리에 의해 제어기 출력 u의 확정값은 min · min · max · 중심법을 취한다. min · max 법에 의한 개별추론 결과 C_i'는 제어규칙 수를 m, α-컷 量子化數를 n(i = 1, 2, ..., m, α = 1, 2, ..., n)라 하고 하면 식(1)이 된다.

$$C_i \alpha = \{u \mid (\mu_{A_i}(e) \wedge \mu_{B_i}(\Delta e)) \wedge \mu_{C_i}(u) \geq \alpha\}$$

$$= \begin{cases} C_i \alpha' & \mu_{A_i}(e) \wedge \mu_{B_i}(\Delta e) \geq \alpha \\ \emptyset & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 A, B, C, C'는 볼록(凸)으로 되는 조건을 취한다. 볼록(凸) 퍼지집합 F의 α-레벨 집합 F_α는 폐구간 [l_{Fα}, r_{Fα}]로 되므로 위의 조각은 구간단점의 연산으로 치환할 수 있다.

최종 추론결과 C'는 식(1)에서 α-레벨 집합을 이용하여 아래 식으로 표현된다.

$$C' \alpha = \bigcup_{i=1}^n \{u \mid \mu_{C_i}(u) \geq \alpha\}$$

$$= \bigcup_{i=1}^n C_i \alpha \quad (2)$$

비퍼지화에서 출력 퍼지집합 C'의 중심값은 식(3)과 같이 된다.

$$u = \frac{\int_M u da du}{\int_M 1 da du} = \frac{\int_0^1 \left[\int_{C_\alpha} u du \right] da}{\int_0^1 \left[\int_{C_\alpha} 1 du \right] da} \quad (3)$$

$$[M = \{(\alpha, u) \mid u \in C'_\alpha\}]$$

식 (3)에서 C'를 볼록 퍼지집합으로 취하면

$C'_\alpha = [l_\alpha, r_\alpha]$ 이고 l_α, r_α 는 후건부 퍼지집합의 좌단과 우단이다. 식(3)에서 중심을 구간의 端点연산으로 나타내면 다음과 같은 식이 된다.

$$u = \frac{\int_0^1 (w_\alpha \cdot g_\alpha) d\alpha}{\int_0^1 w_\alpha d\alpha} \quad (4)$$

여기서 $g_\alpha = (r_\alpha + l_\alpha)/2$, $w_\alpha = r_\alpha - l_\alpha$ 이다. 중심값 u 는 각 α -컷 집합의 추론결과 g_α 와 폭 w_α 에 따른 무게의 평균이 됨을 알 수 있다.

3. α -레벨 양자화 영향에 대한 평가

α 레벨에 의한 퍼지제어에서 양자화 레벨을 많이 하면 연속에 근사하게 되지만 하드웨어화할 때 회로규모가 크게 되기 때문에 적절한 선정이 필요하다. 따라서 양자화 레벨 수를 변화시킬 때 영향을 평가한다.

Table 1. Control rules

		Δe				
		NB	NS	ZE	PS	PB
e	NB	NB				
	NS	PM	ZE	NS	NM	NB
	ZE	PB	PS	ZE	NS	NB
	PS	PB	PM	PS	ZE	PB
	PB	PB				

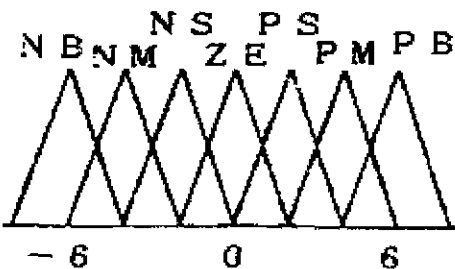
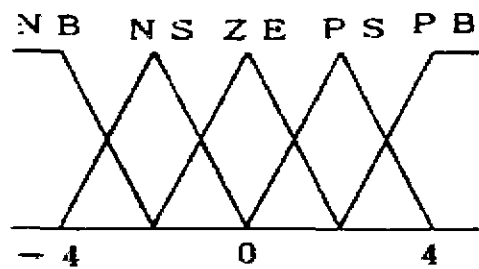


Fig.1 Membership functions

Fig.2은 표1에 나타낸 제어 규칙과 Fig.1에 나타낸 소속 함수로써 추론한 입력 e , Δe 와 출력 u 의 관계를 나타낸다. 여기서 그림(a)은 양자화 단계를 50으로 한 경우이고 그림(b)은 4단계로 한 경우를 나타낸 것이다. 양자화의 영향은 4단계의 경우에 출력이 평탄한 부분이 많은 것을 알 수 있다.

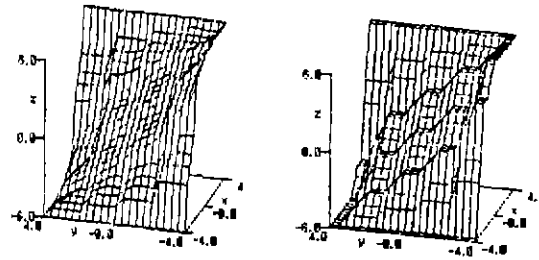


Fig.2 Input-output characteristics (upper $\alpha=50$ step, under $\alpha=4$ step)

Fig. 3(a)는 양자화 단계를 50단계까지 변화한 경우 양자화 단계 수 m 에 대하여 계산한 출력과 원래의 출력과의 계산오차(rms error)를 나타내었다. 또한, 그림(b)는 양자화 폭 $1/m$ 과 계산 오차의 관계를 플롯한 것으로 보는 바와 같이 거의 직선으로 된다. 이것은 $1/m$ 이 양자화 단계에서 어떤 고려를 하면 타당한가를 나타내는 결과이다.

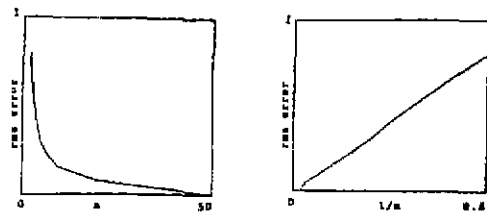


Fig. 3 Calculation errors

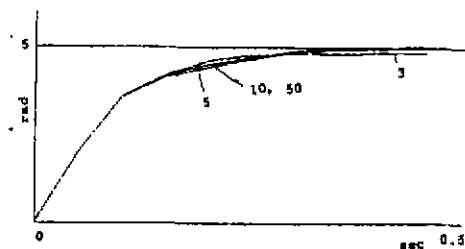


Fig.4 Simulation results

Fig. 4는 양자화 단계 α 를 5, 10, 50으로 하여 직류 서보 전동기의 위치 제어 시뮬레이션을 한 것이다. 전체적으로 거의 차이가 없이 원하는 제어가 행하여지고 있는 것을 알 수 있다. 정상 오차에서 약간의 차이가 있는 것은 소속함수 레벨의 양자화 폭과 소속함수 모양에 따라 결정되는 오차의 검출한계라 생각된다.

4. α -레벨 퍼지제어기의

하드웨어 실현

(1) 퍼지추론에서 소속함수는 각 α -레벨 퍼지집합에서 각 구간의 단점을 전압으로 표현하고 전압분압 회로로 하여 각 점의 전압을 얻는다. 입력부는 α -레벨 집합을 나타내는 구간의 단점과 비교하여 입력이 그 범위에 있는지 없는지에 따라 출력한다. 이것은 광역 비교기로 실현한다.

추론부는 규칙에 대응하여 입력부에서 2값 신호를 논리곱으로 조합하여 각 규칙의 결과가 공집합인가 아닌가를 결정한다. 후건부 max 합성은 각 규칙의 출력에서 하한 l_i 에는 min 연산, 상한 r_i 에는 max 연산을 실현한다.

(2) 비퍼지화에서 중심은 각 α -레벨의 하한 l_i , 상한 r_i 는 식(8)에 나타낸 것과 같이 각각 g_i, w_i 을 구한다. 회로는 아날로그 곱셈기로 실현한다. 펄스폭 변조(PWM)는 분모 D에 비례하는 진폭을 갖는 삼각파를 생성하고 이것과 분자 N을 비교기로 비교하여 그 결과 N/D에 비례한 평균 출력을 얻을 수 있다.

5. 결 론

현재 퍼지제어에 있어서 일반적으로 사용되고 있는 퍼지추론 계산을 α -컷 집합을 이용한 연산 방법과 아날로그회로에서 실현하는 방법을 제안하였다. 필요한 소속함수의 분할수를 시뮬레이션을 통하여 검토한 결과 비교적 적은 분할수에서 적절한 제어결과가 얻어짐을 알 수 있었다. 이 연산법을 비퍼지화회로에 이용하여 PWM회로와 일체화한 아날로그회로로 실현하는 것을 나타내었다.

이 논문은 부경대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

- [1] 菅野道夫, 山崎東, "ファジィ制御 システムと 制御," Vol. 28, No. 7, pp.442-446, (1984).
- [2] 洪淳一 등, "퍼지제어 設計支援을 위한 소프트웨어의 構成," 大韓電氣學會 하계학술대회 論文集, Vol. 1, pp. 717-719, (1991).
- [3] 李, 米澤, "DC모터사-보系的의 퍼지제어," 日本 퍼지 學會誌, Vol. 2, No. 4, pp.598-603, (1991).
- [4] T.yamakaya and T.muki, "The Current Mode Fuzzy logic Integrated Circuits Fabricated by the Standard CMOS Process," IEEE Tran. on Computer, Vol. C5-2, pp 161-167, (1986).
- [5] Isao Takahashi et al., "A Simple Positioning Servo System by Breaking Control," IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 28, No. 6, pp.1314-1321, (1992).
- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System," Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp.481-482, 1988, April.