α -레벨집합 분해에 의한 서보제어용 퍼지추론 연산회로의 개발

Development of Fuzzy Inference Engine for Servo Control Using α-level Set Decomposition

홍순일 , 이요섭
Soon-ill Hong, Yo-seob Lee

요 약

퍼지제어가 서보시스템에 응용할 때 퍼지정보 시스템의 하드웨어 실현은 고속연산, 짧은 실시간의 제어 및 시스템의 소형 경량화가 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 서보시스템에 적용하기 위한 퍼지정보 시스템의 하드웨어를 개발하는 것이다.

본 연구에서는 α-레벨 집합의 분해 원리에 기초하여 α-컷 양자화에 따라 퍼지추론의 계산 방법을 제안하였다. 이 방법은 퍼지제어기의 아날로그 하드웨어의 구성을 쉽게 행할 수 있다.

α-컷 양자화에 따른 퍼지추론 엔진의 출력으로 α-컷 양자화에 따른 퍼지추론 영향을 조사하였고 α-컷 양자화 4단계에서 DC 서보시스템의 퍼지제어에 양호한 결과를 얻었다. 제안한 퍼지추론 연산과 중심법에 의한 비퍼지화에서 직접 PWM 조작 신호를 얻는 방법을 나타내었다. 서보계의 실험을 행하여 유용성을 구명하였다.

ABSTRACT

As the fuzzy control is applied to servo system, the hardware implementation of the fuzzy information systems requires the high speed operations, short real time control and the small size systems. The aims of this study is to develop hardware of the fuzzy information systems to be apply to servo system.

In this paper, we propose a calculation method of approximate reasoning for fuzzy control based on α-level set decomposition of fuzzy sets by quantize α-cuts. This method can be easily implemented with analog hardware. The influence of quantization levels of α-cuts on output from fuzzy inference engine is investigated. It is concluded that 4 quantization levels give sufficient result for fuzzy control performance of dc servo system. The hardware implementation of proposed operation method and of the defuzzification by gravity center method which is directly converted to PWM actuating signal is also presented. It is verified useful with experiment for dc servo system

Keywords : α-level set decomposition, quantization levels of α-cuts, PWM actuating signal

I. 서 론

퍼지제어는 스팀 엔진 제어에서 시작하여 현재 정수장의 약품주입제어, 지하철의 운전, 전기 밥솥, 세탁기 등 가전제품에 이르기까지 넓고 다양한 분야에 이용되고 있으며 제어는 PID제어 또는 디지털 제어로 행하고 있다. 본 연구자는 서보제어용 퍼지추론 TOOL에 관한 연구를 행하여 퍼지제어기 설계에 관한 연구가 진행되고 있다 [1, 2].

퍼지추론 연산은 컴퓨터로 소프트웨어적으로 행하는 경우가 많고 또한 연산시간이 소요되므로 서보계 등 응답속도가 빠른 것을 대상으로 한 시스템에는 적절하지 않다. 따라서 퍼지제어기를 하드웨어적으로 실현할 필요가 있다.

최근 퍼지이론을 고속 하드웨어로 취급하기 위한 연구가 진행되고 있으며 하드웨어화는 크게 나누어 디지털회로에 의한 것과 아날로그 회로에 의한 것의 두 종류가 있다. 디지털회로에 의한 것은 퍼지 논리에 잘 사용되고 종래 계산기에서 취급하기 어려웠던 min · max연산 등을 처리하는 기능을 CPU에 의하여 행

하는 경우가 많다 [3, 4].

아날로그 회로에 의한 것은 소속 함수의 값을 전압, 전류 등의 아날로그 양으로 표현하고 min · max연산을 행하는 방법이 있다. 이 방법은 대집합을 이산적으로 하여 요소수가 적은 경우에 적합하다. 퍼지제어를 제어규칙 내에서 사용하는 경우에는 연속 입력값에서 소속 함수의 값을 구할 때까지는 가능하지만 그 이후의 연산을 연속적으로 하기는 어렵기 때문에 대집합을 시간적으로 추적하는 등의 방법이 필요하고 속도면에서 문제가 있다 [5].

퍼지집합이 종래의 크리스퍼 집합과 다른 점은 소속함수 값이 강조되고 최종결과는 확정값으로 소속함수가 명시적으로 표현될 필요가 없다. 따라서 퍼지집합은 분해원리에 따라 소속함수가 어떤 반복되는 값 α를 요소의 집합으로 하는 α-레벨 집합 (이하 α-컷집합이라 함)으로 표현 할 수 있다.

일반적으로 실수의 볼록(凸) 퍼지집합에서 α-컷은 구간이 되고 상한과 하한의 두 값으로 표현할 수 있다. 이 표현을 사용하면 상한과 하한을 아날로그 값으로 취급하면서 대집합을 연속적으로 처리할 수 있다. 필요한 양자화수가 많으면 연산회로가 크게 되기 때문에 제어성능을 발휘할 수 있는 적절한 양자화수의 결정이 필요하다.

본 연구는 α-레벨 집합의 분해 원리에 기초하여 α-컷 양자화에 따라 퍼지추론의 방법을 나타내었다. 이 방법은 퍼지제어기의 아날로그 하드웨어화에 그 구성을 쉽게 행할 수 있음을 나타내었다. 서보계의 시뮬레이션으로 α-컷 양자화에 따른 퍼지추론 영향을 평가하였고 α-컷 4단계에서 DC 서보시스템의 퍼지제어에 양호한 결과를 얻었다.

또한 제안한 퍼지추론 연산과 중심법에 의한 비퍼지화에서 직접 PWM 조작 신호를 얻는 방법을 나타내었다. 이 연산법에 기초하여 퍼지제어기의 하드웨어를 실행하고 서보계의 실험을 행하여 유용성을 구명하였다.

Ⅱ. α-레벨 집합에 의한 퍼지제어 계산

2.1 α-컷 분해에 의한 퍼지추론

퍼지제어는 제어규칙을 n개라 하면 다음과 같이 추론한다.

R_i : if e is A_i and Δe is B_i then u is C_i

단, i = 1 · · · · n 이고 A_i , B_i, C_i는 퍼지라벨이며 퍼지집합이고 e, Δe는 입력이다.

추론방법은 min · min · max ·중심법을 취한다. 퍼지추론의 α-레벨 집합에 의한 표현은 上原[2]이 퍼지관계를 이용하여 나타내지만 저자는 하드웨어화의 적용에서 비퍼지화까지 통일적으로 연산하는 것을 생각하여 구체적인 계산식을 나타낸다.

퍼지집합 F의 α-레벨 집합 F_α는 식(1)으로 정의되고 α-컷집합이라 한다.

$$F_\alpha = \{x \mid \mu_F(x) \geq \alpha\} \quad , \alpha \in [0, 1] \tag{1}$$

여기서, $0 < \alpha < 1$ 이고 F_α는 모든 α를 이용하여 분해원리로 나타낼 수 있다.

min · min · max 법에 의한 추론계산은 식(2)으로 표현된다.

$$\begin{aligned}\mu_{c'}(u) &= \bigvee_{i=1}^{n}[\mu_{Ai}(e) \wedge \mu_{Bi}(\Delta e)] \wedge \mu_{Ci}(u) \\ &= \bigvee_{i=1}^{n}\mu_{Ci'}(u)\end{aligned} \tag{2}$$

여기서, μ_C는 퍼지집합 C의 소속함수, C_i'는 각 제어규칙의 추론결과 퍼지집합이고 C'는 최종 추론결과의 퍼지집합을 나타낸다.

식(2)를 식(1)에서 정의한 α-컷집합을 이용하여 식(3)이 된다.

$$\begin{aligned}C_\alpha' &= \{u \mid \mu_{c'}(u) \geq \alpha\} \\ &= \bigcup_{i=1}^{n}\{u \mid \mu_{c_i'}(u) \geq \alpha\} \\ &= \bigcup_{i=1}^{n} C_i\alpha'\end{aligned} \tag{3}$$

퍼지제어기의 입력변수는 오차e와 오차변화분 Δe이고 각 규칙의 추론결과 $C_i\alpha'$는 제어규칙 수를 m, α-컷 양자화수를 n(i = 1, 2,....,m, α = 1, 2,...n)라 하면 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}C_i\alpha' &= \{u \mid [\mu_{Ai}(e) \wedge \mu_{Bi}(\Delta e)] \wedge \mu_{Ci}(u) \geq \alpha\} \\ &= \begin{cases} C_i\alpha' & \mu_{Ai}(e) \wedge \mu_{Bi}(\Delta e) \geq \alpha \\ \varnothing & otherwise \end{cases} \\ &= \begin{cases} C_i\alpha' & e \in A_i\alpha \text{ and } \Delta e \in B_i\alpha \\ \varnothing & otherwise \end{cases}\end{aligned} \tag{4}$$

여기서 퍼지집합은 모두 凸을 취하고 α-컷집합 F_α는 폐구간 $[l_{F\alpha}, r_{F\alpha}]$로 되므로 위의 계산은 구간단점의 연산으로 치환할 수 있다. A, B, C는 제어기 설계자가 결정하기 때문에 보통 凸 퍼지집합으로 취할 수 있지만 C'는 추론결과에서 얻어지기 때문에 A,

B, C 가 凸 이라도 일반적으로 凸이 되지 않는다. C'가 凸이 되지 않을 경우 C_α'는 단일구간과 복수구간의 합집합이므로 간단히 凸 아닌 C'가 얻어지기 때문에 C'를 포함하여 최소의 凸 퍼지집합으로 치환한다. 식(4)은 구체적으로 퍼지추론의 계산 방법을 나타낸 것이다.

2.2 비퍼지화 회로

중심법에 의한 출력 퍼지집합 C'의 중심값은 식(5)과 같이 된다.

$$u = \frac{\int \mu_{C'}(u) u du}{\int_{\mu_{C'}} (u) du} \tag{5}$$

여기서 u의 적분은 대집합 U 전체를 적분 범위로 하는 정적분을 나타낸다.

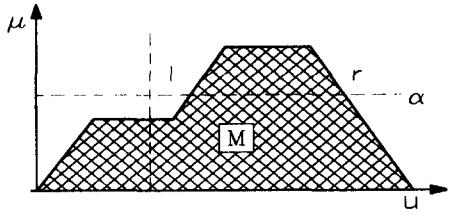

그림 1 비퍼지화 적분범위

Fig. 1 Region of integral range for defuzzification.

이 중심의 계산은 그림 1과 같이 2차원적으로 생각하여 적분순서를 교환하고 α-컷집합을 이용하여 나타내면 식(6)과 같다.

$$u = \frac{\int_M u \, d\alpha \, du}{\int_M 1 \, d\alpha du} = \frac{\int_0^1 \left[\int_{C_\alpha'} u du \right] d\alpha}{\int_o^1 \left[\int_{C_\alpha'} 1 du \right] d\alpha}$$

$$[\ M = \{(\alpha,\ u) \mid u \in C_\alpha'\}\ ] \tag{6}$$

식(6)에서 C'를 凸 퍼지집합으로 취하면 $C_\alpha' = [\,l_\alpha,\ r_\alpha\,]$로 되고 중심을 구간의 단점으로 나타내면 식(7)이 된다.

$$u = \frac{\int_0^1 \frac{1}{2}(r_\alpha^2 - l_\alpha^2) d\alpha}{\int_0^1 (r_\alpha - l_\alpha) d\alpha} = \frac{\int_0^1 (w_\alpha g_\alpha) d\alpha}{\int_0^1 w_\alpha d\alpha} \tag{7}$$

단, l_α, r_α는 후건부 퍼지집합의 좌단과 우단이다. 여기서 $w_\alpha = r_\alpha - l_\alpha$, $g_\alpha = (r_\alpha + l_\alpha)/2$로 놓으면 u는 각 α-컷집합에 의한 추론결과 g_α 와 그 폭 w_α에 의해 중심의 평균이 됨을 알 수 있다.

Ⅲ. α -레벨 양자화 영향의 평가

α-레벨에 관한 적분 계산을 일반적인 소속 함수로 행하기 위해서는 양자화에 따른 근사화가 필요하다. 양자화 레벨을 많이 하면 연속에 근사하게 되지만 하드웨어화 할 때 회로규모가 크게 되기 때문에 적절한 선정이 필요하다. 따라서 양자화 레벨수를 변화시킬 때 영향을 평가한다.

Table 1. Control rues

표 1 제어규칙

		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				

여기서, NB: Negative Big, NS: Negative Small, NM : Negative Middle, ZE: Zero. PB: Positive Big, PS: Positive Small, PM: Positive Middle.

시뮬레이션에 사용한 제어규칙은 Table 1과 같고 소속함수는 삼각형법으로 하고 전건부 5명제, 후건부 7명제로 하여 25개의 제어규칙을 라벨로 구성한다. 소속함수의 스켈링 펙터는 전건부 K_1, K_2이고 후건부는 K_0이다

3.1 시뮬레이션에 의한 퍼지제어기의 입출력과 응답특성

그림 2는 α-레벨 단계를 각각 1, 4 로 양자화한 경우 시뮬레이션에 의한 입출력 관계를 나타낸다. 시뮬레이션에 사용한 스케일링 펙터는 $K_1 = 5.0$, $K_2 = 1.0, K_0 = 15.0$이고 제어규칙은 표1을 이용하며 소속함수는 그림 2에 나타낸 삼각형법을 이용한다.

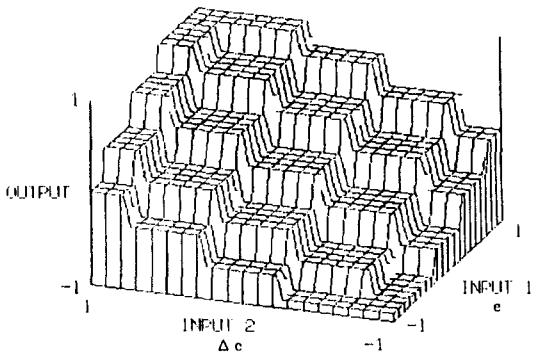

그림 2 양자화수에 따른 제어기 입출력관계
Fig. 2 Input-output characteristics by quantize

그림 2(a)의 양자화 1단계는 후건부의 각 소속함수가 중첩되지 않는 크리스프 집합으로 추론하는 것과 등가로 된다. 이것은 제어규칙표 상의 각 결론을 나타내는 퍼지 집합이 크리스프된 것으로 되어 추론결과에는 퍼지한 값이 얻어지지 않기 때문에 규칙에 대응한 계단상의 결과가 얻어지는 것으로 생각된다.

(b)는 양자화수 4단계에서 입출력관계를 나타낸 것으로 이와 같이 분해수를 증가하면 추론결과는 계단상의 폭이 좁게 되고 연속한 경사면상의 형상이 선형에 가깝게 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 양자화의 영향은 α-컷 4단계 이상에서 출력이 평탄한 부분이 많고 입출력 특성의 선형성은 α-컷 단계가 높을수록 좋아지는 것으로 생각된다.

그림 3은 α-컷 분해에 의해 레벨을 양자화하여 추론과 비퍼지화를 계산한 경우 각 α-컷 단계에서 발생하는 계산오차를 비교한 것이다. 양자화 단계를 n라고 할 때 1/n과 계산 오차의 관계를 나타낸 것이다. 계산오차는 1/n에 대하여 거의 직선으로 된다. 이것은 1/n이 양자화 단계에서 어떤 고려를 하면 타당한가를 나타내는 결과이다. 제어계의 영향을 미루어 보아 1에서 50단계까지의 양자화수에서 적은 수의 양자화는 정상편차가 크게 나타났다. 그 이유는 소속 함수의 레벨의 양자화 폭과 모양에 따라 결정되는 오차의 검출 한계에 따른 것이라 생각된다.

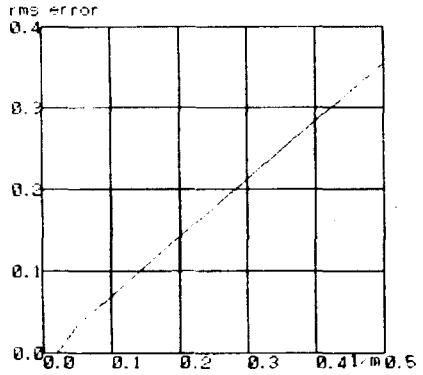

그림 3 양자화수와 계산오차의 관계
Fig. 3 Relations of calculation errors and quantize α-cuts

이상 입출력 특성과 계산 오차의 평가에서 고찰한 것과 같이 4단계 이상의 양자화는 일반적인 퍼지제어와 동일한 정도의 제어성능이 얻어진다.

그림 4는 표1의 제어규칙과 전건부 5명제 후건부 7명제의 삼각형 소속함수로서 α-레벨 양자화를 변화하여 추론연산을 서보계에 적용한 경우의 스텝응답을 시뮬레이션으로 나타낸 것이다.

시뮬레이션에 사용한 스케일링 펙터는 앞에서와 같고 직류전동기 정수 $K_m = 10.0$[rad/sec], $T_m = 0.04$[sec] 이다.

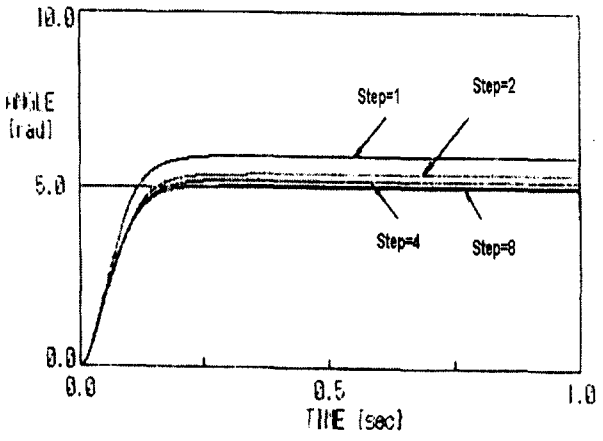

그림 4 α-컷 단계에 따른 시뮬레이션 응답
Fig. 4 Step responses for fuzzy controller as parameter α-cut

그림에서 α-레벨 양자화수 1단계의 응답은 어느 정도 제어가 행해져서 목표값에 수렴하고 있는 것을 알 수 있지만 16 % 정도 정상 편차가 크게 되어 만족한 제어성능을 얻기는 어렵다. 또한 2단계의 응답의 경우도 8 %정도의 정상편차가 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

그리고 3단계 이하의 분해에서, 응답은 정상오차를 발생시키고 목표위치에 도달하지 않았지만 4단계 이상에서는 정상 편차가 4% 이내로 목표값에 도달하고 있는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 α-컷 분해의 수는 적어도 4단 이상이 필요하다는 것을 알 수 있다.

Ⅳ. α -레벨 퍼지제어기의 하드웨어 실현

그림 5는 시뮬레이션으로 검토한 결과에 기초하여 퍼지추론에서 비퍼지화까지 직접 PWM신호를 출력하는 퍼지제어기의 하드웨어 구성도를 나타낸다. 퍼지제어기는 입력부, 추론부 및 비퍼지화부로 구성되고, 비퍼지화부에는 제어기의 출력을 얻기 위한 PWM 신호 발생부도 포함된다. 시험 제작한 하드웨어는 소속함수 급수를 0.8, 0.6, 0.4, 0.2의 4단계로 하였다. 소속함수는 각 α-컷집합에서 각 구간의 단점을 전압으로 설정한다. 제작 회로는 전압분압 회로로 하여 각 점의 전압을 얻는다.

4.1 추론부 회로구성

각 논리소자로 구성하는 세부회로는 아래에 각 부분별로 논술한다.

① 위치검출은 펄스엔코드에 의해서 행하고 이것을 카운터하여 D/A변환기로 변환하여 피드백 신호로 한다. ②입력부회로는 카운터의 출력을 D/A변환기로 변환해서 0~5V의 전압값으로 나타낸 입력 e와 이것의 변화분 Δe를 얻는다. ③ max합성회로는 합집합을 구하는 것이기 때문에 하한 l_α에는 min연산, 상한 r_α에는 max 연산을 실현한다. 이 경우 복수개의 동일 집합에 대한 max 합성은 한 개의 경우로 변화되지 않기 때문에 동일한 후건부를 갖는 제어규칙의 추론은 디지털적 논리합(AND gate)으로 미리 통합한다.

④ min연산 · max연산회로는 후건부 α-레벨 집합 사이의 하한과 상한의 대소관계는 결정되어 있기 때문에 최소의 하한과 최대의 상한을 갖는 라벨을 디지탈적으로 선택 출력하는 것으로 할 수 있다. 시작 회로는 프라이오리티 엔코드(Priority encoder) 에서 검출한 라벨을 코드화하여 아날로그 멀티플렉서에서 대응하는 후건부 라벨의 단점 전압을 선택한다.

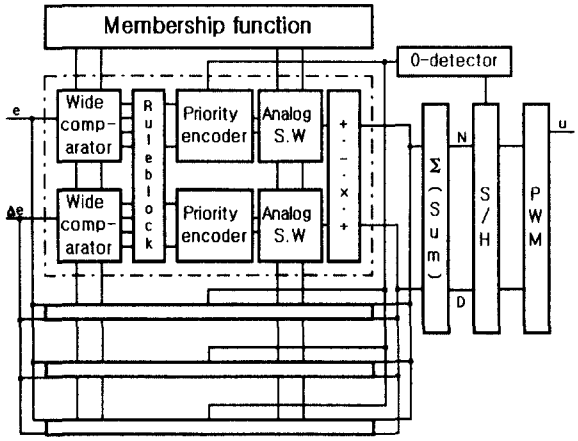

그림 5 퍼지제어기의 하드웨어 구성
Fig. 5 Hardware configuration of fuzzy controller

⑤ 식(4)의 각 제어규칙에 의한 추론 결과 공집합의 취급회로는 아날로그 적으로 min · max연산을 하는 경우 각 제어 규칙의 출력이 공집합으로 될 때 $l=u_{\max}$, $r=u_{\min}$로 한다. 각 α-레벨에서 통합한 추론 결과가 공집합으로 될 때는 $l>r$이 되므로 이 경우에는 $l=r$ 로 수정하여 중심계산에 영향을 주지 않도록 한다. 각 제어규칙에 의한 추론결과가 모든 α-레벨에서 공집합으로 되는 경우 각 레벨의 프라이오리티 엔코드에서 공집합을 검출하고 샘플링홀드에서 직전의 값을 유지하도록 한다.

4.2 비퍼지화 회로구성

일반적으로 중심법에 의한 비퍼지화는 나눗셈을 필요로 하지만 여기에서는 직접 나눗셈을 행하지 않고 식 (7)에 의해서 PWM 신호를 얻는 방법을 제안한다. 그림 6은 PWM 조각 신호를 얻는 방법을 나타낸다.

① 중심법에 의한 비퍼지화는 식(7)에 나타낸 것과 같이 α-컷집합의 하한 l_α , 상한 r_α에서 각각 g_α, w_α을 구한다. 본 회로는 이것을 아날로그 곱셈기로 실현 하지만 상한의 2승 l_i^2와 하한의 2승 r_i^2은 후건부 α-레벨 집합의 단점이므로 미리 대응하는 값으로 놓고 이것을 후건부 합성의 경우에 선택하도록 한다.

각 제어규칙에 의한 추론결과가 모든 α-레벨에서 공집합으로 되는 경우 각 레벨의 프라이오리티 엔코드에서 공집합을 검출하고 샘플링홀드에서 직전의 값을 유지하도록 한다.

식(7)에서 나눗셈은 직접 행하지 않고 PWM신호를 직접 발생하는 방법은 다음과 같다. Fig. 7에 나타낸 것과 같이 분모 D에 비례하는 진폭을 갖는 삼각파를 생성하고 이것과 분자 N을 비교기로 비교하여 그 결과 N/D에 비례한 평균 출력을 얻을 수 가 있다.

② 삼각파 발생회로는 적분기와 히스테리시스 컴파레이터를 사용한다. 기울기가 분모D에 비례하는 삼각파를 발생시키므로 스위칭 주파수는 일정하게 유지된다. 본 장치에서는

N>0일 때

$$V_0 = \begin{cases} +E & N > T(t) \\ \varnothing & N < T(t) \end{cases} \tag{8}$$

N< 0 때

$$V_0 = \begin{cases} -E & -N > T(t) \\ \varnothing & -N < T(t) \end{cases} \tag{9}$$

이 된다. 여기서 E(E>0)는 구동전원 전압이고 T(t)는 삼각파를 나타내며 $0 \le T(t) \le D$이다.

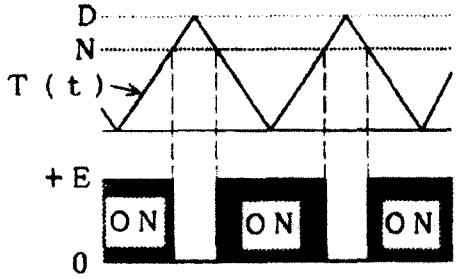

그림 6 분자 분모 입력에 의한 PWM 신호
Fig. 6 PWM Engine from numerator and denominator

그림 6에서 PWM 신호의 주파수는 삼각파의 진폭을 컴파레이터에 비교시켜 높이에 비례한 주기와 진폭에 비례한 도통 시간을 갖는 PWM신호를 발생시킬 수 있다.

4.3 제작한 퍼지제어기에 의한 실험

실험은 제작한 퍼지제어기에 직류서보 전동기를 연결하여 펄스엔코드에서 위치 검출하고 이것을 피드백하여 목표값과 비교한다. 여기서 사용한 직류 서보전동기정수 $K_m = 10.0$[rad/sec], $T_m = 0.04$[sec] 이다.

엔코드에서 검출한 위치신호는 카운터하여 그 출력을 D/A변환기로 변환해서 0~5V의 전압값으로 나타내어 피드백 신호로 한다. 이 신호는 설정값과 비교하여 제어편차 e와 변화분 Δe가 퍼지제어기의 입력신호이다.

그림 7은 제작한 퍼지제어기의 입출력 특성을 나타내고 시뮬레이션에서 얻은 결과 그림 2(b)와 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 시뮬레이션 실험에서 결정한 α-컷 단계 4가 적절하게 선정되었다고 생각된다.

그림 8은 하드웨어화 하여 제작한 퍼지제어기로 위치 제어한 스텝응답의 제어결과를 나타낸다. 본 시험장치에서는 α-컷은 4단계로 취급하였으며 각 단계별로 회로 기판을 제작하여 쉽게 뽑고 끼울 수 있도록 하였다.

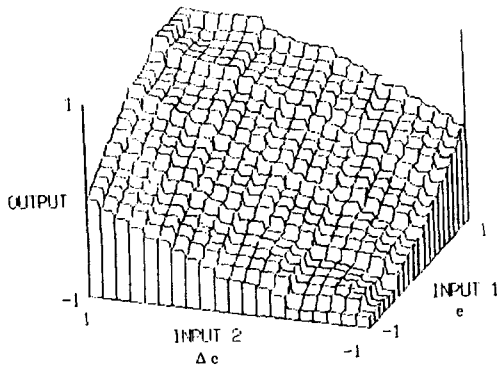

그림 7 제작한 퍼지제어기의 입출력관계
Fig. 7 Input-output characteristics

중심법에 의한 비퍼지화에서 출력은 각 α-레벨 평균이 출력되기 때문에 일부 레벨의 회로를 제거하여도 동작한다. 제작한 퍼지제어기에 의해 직류서보 전동기의 위치제어를 한 결과 정상편차는 나타나지 않고 잘 동작하고 있는 것을 그림 8에서 확인하였다.

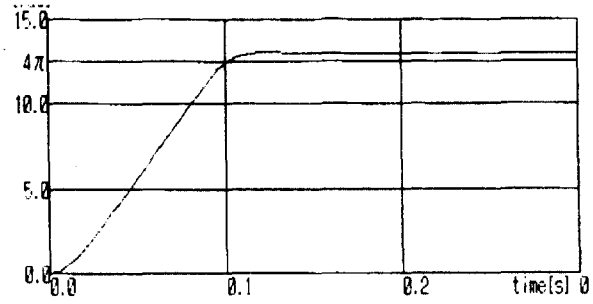

그림 8. 퍼지제어기에 의한 실험 결과
Fig. 8 Result of control experiment of the fuzzy controller

그러나 최상위 α-레벨의 1회로만의 실험에서는 비교적 큰 진동이 발생하고 정상적인 동작이 되지 않았다. 이 현상은 α-레벨 집합의 폭이 좁고 입력공간을 충분히 크게 하지 않았기 때문에 어떤 제어규칙에도

적용된 출력이 부정으로 되는 경우가 많다고 추정된다. 입력공간을 크게 하지 않으면 제2 레벨에서도 동일한 현상이 나타나지만 간격이 좁기 때문에 샘플링 홀드 회로에 의한 부정억제 회로가 효과를 발휘한 것으로 생각된다.

V. 결 론

퍼지제어기 설계에서 퍼지추론은 min· min· max 법에 의해 간단히 하드웨어를 실현 할 수 있는 구체적인 퍼지추론 계산식 (4)를 도출하였다. 비퍼지화는 중심법을 이용하여 식 (7)과 같이 도출하여 나눗셈을 행하지 않고 직접 PWM 조작신호를 얻는 방법을 제안하였다.

필요한 소속함수의 분할수는 시뮬레이션을 통하여 검토한 결과 비교적 적은 분할수에서 적절한 제어결과가 얻어짐을 알 수 있었다. α-컷 4단계 분할을 이용한 연산회로를 사용하여 아날로그회로에 의해 퍼지제어기를 설계 제작하였다. α컷 분해에 의한 연산법을 비퍼지화회로에 이용하여 PWM회로와 일체화한 아날로그회로로 실현하고 실험을 통하여 동작을 확인하였다. 퍼지제어기를 아날로그회로로 실현하면 거의 대부분의 제어규칙 내에서 직접응용 가능하게 된다.

접수일자 : 2001. 5. 15 수정완료 : 2001. 7. 9

參 考 文 獻

[1] 홍순일, 노창주 " 서보제어계 설계 지원을 위한 퍼지추론 TOOL의 개발 ", 한국 박용기관학회 논문지, Vol. 19, no. 4, pp. 370-376, 1995.

[2] 홍순일, "Development of Fuzzy Reasoning Tool for the Application of Servo System", 전력기술 기초연구 논문집(EESRI), Vol.1, No.2, 93-30, pp. 105-108, 1993.

[3] 上原 " Analog/membership grade 變換機能お 有する ファジイ推論 Engine", 情報處理學會 研究報告, 88-AI- 60-4, 1990.

[4] T. Yamakawa and T. Miki, "The Current Mode Fuzzy Logic Integrated by the standard CMOS Process ", IEEE, Trans. on Computer, Vol. C5-2, pp. 161-167, 1986.

[5] T. Yamakawa, " High-Speed Fuzzy Controller Hardware System ", 제 2회 ファジイ シンポジウム講演論文集, pp. 122-130, 1986.

[6] 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.

홍순일 (S. I. Hong)
正會員
1969년 부산대학교 전기공학과
1981년 부산대학교 대학원(공학석사)
1986년 한국해양대학교 대학원 (공학박사)

1993년-1996년 대한전기학회 편집이사
1997년-1999년 한국조명·전기설비학회 부산경남 회장
2001년-현재 대한전기 학회 부산지부 회장
2000년-현재 한국 신호처리·시스템학회 감사
1979년-현재 부경대학교 전기·제어계측공학부 교수

이요섭 (Y. S. LEE)
正會員
1997년 부산대학교 전기공학과
1987년 경성대학교 대학원(공학석사)
2001년-현재 부경대학교 대학원 박사과정