

---

# 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지논리 제어기 소속함수의 양자화와 제어규칙의 최적 설계방식

정성부\*

## Optimal Design Method of Quantization of Membership Function and Rule Base of Fuzzy Logic Controller using the Genetic Algorithm

Sung-Boo Chung\*

### 요 약

본 논문에서는 퍼지논리 제어방식에서 전문가로부터 소속함수의 관계조정과 제어규칙 베이스 선정 등의 제어지식을 획득해야 하는 문제점을 해결하기 위하여 유전자 알고리즘으로 최적의 소속함수의 양자화와 제어규칙 베이스를 구성하여 우수한 제어성능을 갖는 방법을 제안하였다.

제안한 방식은 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 소속함수의 변수값들과 퍼지제어 규칙을 최적화한 값으로 구하고, 이렇게 구한 값들을 초기값으로 하여 퍼지 제어기를 오프라인으로 구성하고 실제 하드웨어 상에서 온라인으로 적용하는 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위해서 DC 서보 모터의 위치제어에 대하여 시뮬레이션 하였고, 단일링크 매니퓰레이터를 이용한 위치제어 실험을 통하여 제어성능이 우수함을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we proposed a method that optimal values of fuzzy control rule base and quantization of membership function are searched by genetic algorithm. Proposed method searched the optimal values of membership function and control rules using genetic algorithm by off-line. Then fuzzy controller operates using these values by on-line. Proposed fuzzy control system is optimized the control rule base and membership function by genetic algorithm without expert's knowledge. We investigated proposed method through simulation and experiment using DC motor and one link manipulator, and confirmed the following usefulness.

### 키워드

Zigbee, Sensor Network, 의료정보전송

### 1. 서 론

인간의 학습능력을 인위적으로 구현할 수 있는 대표적인 방법으로는 신경회로망(neural networks)이 있으며 인간의 의사결정 능력을 구현할 수 있는 방법으로는 퍼지이론이 있다. 최근에는 이 둘을 결

합하여 인간과 비슷한 학습과 의사결정을 가능케 하는 뉴로퍼지 기법이 개발되고, 또한 자연진화 방식을 모방한 비선형 최적화 방법인 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 신경회로망 및 퍼지시스템을 최적화하는 방법들과 제어시스템에 대한 실시간 적용에 대하여 연구되고 있다. 이것은

충분한 학습을 통해 경험적 지식을 보유한 인간이 복잡하고 애매한 상황에서도 합리적인 판단을 할 수 있게 하는 매우 중요한 방법이다[1],[2].

퍼지이론은 미국 버클리 대학의 Zadeh 교수에 의해 제안되었으며 그는 'Fuzzy Sets'(1965), 'Fuzzy Algorithm'(1968) 등의 논문을 잇달아 발표하면서 인간의 언어 및 사고에 관련된 애매함(fuzziness)을 '그렇다' 또는 '아니다'로 나타내는 이치(二值)논리가 아닌 더 구체적이고 효과적으로 나타내는 다치(多值)논리로 처리하는 방법을 구축하였다. 기존에는 이러한 퍼지이론을 적용한 다양한 산업용 플랜트에 대한 연구와 경험적인 제어규칙의 최적화에 대한 연구가 지속되었다. 그러나 퍼지논리 제어방식은 전문가로부터 제어지식의 획득, 즉 소속함수(membership function) 관계의 조정과 제어규칙 베이스(control rule base) 선정 등의 문제점을 가지고 있어 원하는 제어특성을 얻기 위해서는 여러 번의 시행착오를 거쳐야만 하므로 시간이 오래 걸리고, 실시간 제어가 어려웠다[3],[4].

John Holland에 의해 1975년에 개발된 유전자 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본이론을 둔 병렬적이고 전역적(global)인 탐색 알고리즘으로서, 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아남는다는 Darwin의 적자생존(survival of the fittest) 이론을 기본개념으로 한다. 고전적인 제어기 알고리즘들은 제어기에 대한 충분한 지식과 시스템의 수학적 해석 및 계산에 의해서 설계되었다. 이렇게 설계된 시스템도 주어진 환경에서 지역적(local)일 수도 있었다. 그러나 유전자 알고리즘은 전역적인 최적의 해를 발견할 높은 가능성을 가진다는 장점과 목적함수값(objective function value)에 대한 수학적 제약이 거의 없기 때문에 여러 분야에 적용할 수 있다[5],[6].

본 논문에서는 퍼지논리 제어방식에서 전문가로부터 소속함수의 관계조정과 제어규칙 베이스 선정 등의 제어지식을 획득해야 하는 문제점을 해결하기 위하여 유전자 알고리즘으로 최적의 소속함수의 양자화와 제어규칙 베이스를 구성하는 방법을 제안한다. 제안한 방식은 실제 플랜트에 퍼지논리를 이용해서 제어를 하되, 먼저 오프라인(off line)상에서 퍼지제어기의 퍼지제어 규칙 베이스와 소속함수를 유전자 알고리즘으로 최적화시킨 후 온라인(on line)으로 플랜트를 제어하는 방식이다. 제안한 제어방식의 유용성을 확인하기 위해서 DC 서보모터의 위치제어에 대하여 시뮬레이션을 하고, 단일링크 매니퓰레이터(one link manipulator)

에 대한 위치제어 실험을 통하여 제어성능을 검토한다.

## II. 퍼지논리 제어방식과 유전자 알고리즘

### 1. 퍼지논리 제어방식

퍼지제어기는 그림 1과 같이 퍼지화기, 규칙 베이스, 퍼지 추론기, 비퍼지화기로 구성된다[3].

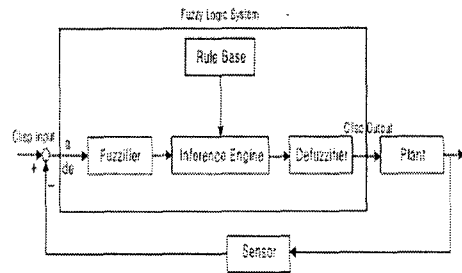


그림 1. 퍼지논리 제어기의 기본 구성도

Fig 1. Basic block diagram of fuzzy logic controller.

퍼지제어기에 대한 입력변수는 매 샘플링 시점마다의 오차(e)와 오차의 변화량(de)으로부터 결정되고 "IF - THEN 형식"의 언어적인 규칙으로 표현된다. 이러한 규칙은 주로 전문가의 지식이나 경험에 의해서 얻어진다.

규칙에서 사용되는 언어적 변수들의 애매함을 0과 1이라는 기존의 논리체계와는 다르게 0에서 1까지의 범위 내에서 정량적(Quantitative)으로 표현하기 위하여 소속함수를 사용한다.

퍼지 추론기에서 퍼지규칙들로부터 추론된 최종적인 결론값은 결정적인 값이 아니므로 실제 제어 입력으로는 사용할 수가 없다. 그래서, 플랜트의 입력으로 사용하기 위해서 비퍼지값인 단일 실수값으로 만들어야 되는데 비퍼지화기는 실제 제어 입력의 전체 집합에 맞추어 크기를 변환시킨다. 이런 비퍼지화 과정에는 보통 최대치법, 최대치 평균법, 무게중심법 등의 3가지 방법이 사용된다[3].

### 2. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 전역적인 최적화 해를 구하기 위하여 재생산, 교배, 돌연변이라는 유전 연산자를 사용한다. 재생산은 각각의 스트링이 가지는 적합도에 따라 그 스트링을 복제하는 과정이며 이때 적합도 함수는 사용자가 최대화하거나 최소화하기를 원하는 어떠한 형태의 함수도 가능하다. 이 과정은 적합도가 높은 개체일수록 다음 세대에 더

많은 자손을 가질 확률이 높음을 의미하며 이는 주어진 환경에 더 잘 적응하는 개체만이 살아남는다는 자연 선택의 원리를 담고 있다.

자연계에서 자손은 부모세대로부터 유전자를 이어받으면서도 부모와는 전혀 다른 형질을 가지듯이 유전자 알고리즘에서도 이 과정을 모방한 것이 교배과정이다. 이는 교배율(crossover rate)을 가지는 확률적 과정임에도 불구하고 재생산과 함께 쓰여 개체간의 정보를 교환하고 스트링의 좋은 부분을 결합하는 효과적인 수단이 된다. 즉 적합도가 높은 개체들을 빠르게 결합하여 현재 집단의 진역에 확산시키는 역할을 하며 다른 최적화 알고리즘에 없는 유전자 알고리즘에서 가장 중요하고 독특한 과정이다. 돌연변이 연산자는, 이진 스트링을 염색체로 사용하는 경우 각각의 비트에 대해 돌연변이가 확률  $P_m$ 에 따라 0은 1로, 1은 0으로 변경하는 연산자이다.

목적함수(objective function) 즉, 최적화(최대화 또는 최소화)하고자 하는 함수는 각 개체의 적합도를 평가하는 기반이다. 그러나 목적함수값의 범위는 문제마다 다르기 때문에 보통 정해진 구간사이의 양수값을 갖도록 표준화된 값을 적합도로 사용한다. 엄격히 구별하자면, 표준화되기 전의 적합도의 값을 raw 적합도(raw fitness)라고 하면 표준화되어서 실제로 선택의 기준이 되는 함수를 적합함수라고 한다. 표준화하는 한 가지 방법은 목적함수의 값을 식 (1)과 같이 선형적으로 재조정하는 것이다.

$$f' = af + b \tag{1}$$

여기서  $f$  는 raw 적합도를 나타내고  $f'$  는 표준화된 적합함수의 값을 나타낸다.

### III. 제안한 제어방식

퍼지논리 제어방식은 전문가로부터 제어지식의 획득, 즉 소속함수 관계의 조정과 제어규칙 베이스 선정 등의 문제점을 가지고 있어 원하는 제어특성을 얻기 위해서는 여러 번의 시행착오를 거쳐야만 하므로 비전문가의 경우 더욱더 많은 시행착오를 거쳐야 하고, 그 값이 최적화 되었다고 말할 수 없다.

본 논문에서는 제안한 퍼지논리 제어방식에 이러한 값들을 전문가의 지식없이 유전자 알고리즘으로 최적의 소속함수와 퍼지제어 규칙 베이스를 구성하는 방법을 제안한다. 그러나 유전자 알고리

즘은 교배나 세대수에 따라 계산량이 상당히 많기 때문에 일반적인 제어 시스템에 실시간으로 적용하기는 힘들다. 그래서 Matlab을 이용한 시뮬레이션에서 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 소속함수의 변수값과 제어규칙 베이스를 구하고, 이렇게 구한 값들을 초기값으로 하여 퍼지제어기를 오프라인으로 구성하고 실제 하드웨어 상에서는 온라인으로 실험을 한다. 제안한 제어방식의 블록선도는 그림 2와 같다.

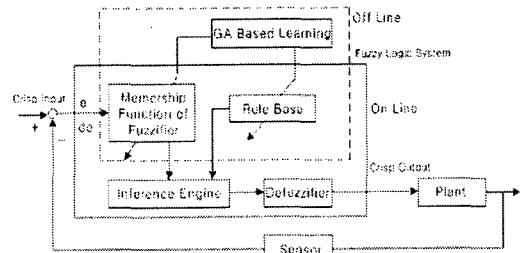


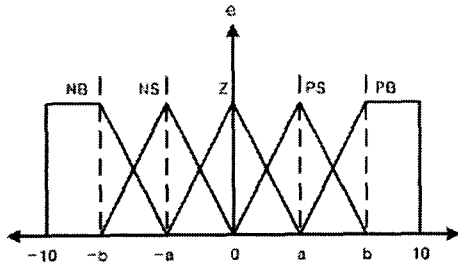
그림 2. 제안한 퍼지제어방식의 블록선도  
Fig 2. The block diagram of proposed fuzzy control method.

퍼지화를 하기위한 오차(e)의 소속함수 변수값들은 5개의 퍼지라벨을 사용하는 경우, 그림 3(a)와 같이 영점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 변수 a로, 다시 a점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 b라는 변수로 두었고, 변수 a와 b의 간섭을 방지하기 위하여 각 변수의 구간을 지정하였다. 다음으로 오차 변화분(de)의 소속함수 변수값들은 그림 3(b)와 같이 영점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 변수 c로, 다시 c점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 d라는 변수로 두었고, 오차의 소속함수 변수와 같이 간섭을 방지하기 위하여 각 변수의 구간을 지정하였다. 끝으로 출력(u)은 3개의 소속함수로 구성하였으며 1개의 변수 f로 구성하였고, 그림 3(c)와 같다.

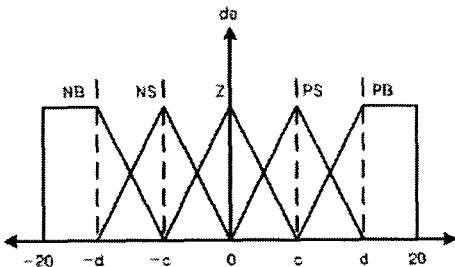
여기서, NB = Negative Big, NS = Negative Small, Z = Zero, PS = Positive Small, PB = Positive Big, N = Negative, P = Positive의 의미를 갖는 퍼지라벨(Fuzzy Label)이다.

소속함수의 양자화를 위하여 5개의 변수 a, b, c, d, f를 유전자 알고리즘의 염색체 스트링으로 구성하며, 각 변수구간의 bit수는 양자화 범위로 결정한다.

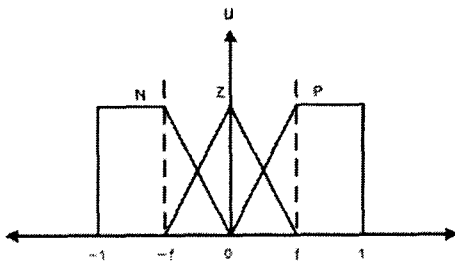
제어규칙 베이스는 5개의 퍼지라벨을 사용하는 경우, 식 (2)와 같이 부호화하여 유전자 알고리즘으로 최적의 퍼지규칙을 생성하여 퍼지제어에 이용한다.



(a) 오차 소속함수  
(a) Error membership function



(b) 오차 변화분 소속함수  
(b) Differential error membership function



(c) 출력 소속함수  
(c) Output membership function

그림 3. 제안한 퍼지 집합에 대한 소속함수

Fig 3. Membership functions for proposed fuzzy set.

$$\{NB, NS, Z, PS, PB\} \Rightarrow \{1, 2, 3, 4, 5\} \quad (2)$$

25개의 퍼지규칙을 유전자 알고리즘의 염색체 스트링으로 구성하여 각각의 스트링에 식 (3)의 값을 매핑한다. 염색체의 구성은 그림 4과 같고, 각 퍼지규칙의 bit수는 3bit이고 퍼지제어 규칙베이스의 구성은 표 1과 같다.

#1	#2	#3	...	#24	#25
2	1	3	...	4	5

그림 4. 염색체의 구성

Fig 4. Composition of chromosome.

표 1. 퍼지규칙의 구성  
Table 1. Construction of fuzzy rule

e \ de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	#1	#2	#3	#4	#5
NS					
Z					
PS					
PB				#24	#25

적합도는 퍼지제어의 수행시간 t까지의 SSE (Sum Squared Error)를 이용하여 식 (3)과 같이 설정한다.

$$Fitness = \frac{1}{SSE + 1} \quad (3)$$

#### IV. 시뮬레이션

제 3장에서 제안한 퍼지논리 제어방식의 유용성을 입증하기 위하여 DC 모터를 모델링하여 Pentium IV 1[GHz] PC 상에서 MatLab으로 위치제어 시뮬레이션을 한다. DC 모터의 스텝응답 시뮬레이션을 위하여 Maxon사의 F2260.811 - 51.216-200 (DC 18[V], 23.8[A], 40[W]) DC 서보모터를 모델링 하였으며, 모델링 한 모터의 상태변수 방정식은 식 (4)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{K_t}{T} \end{bmatrix} u(t) \quad (4)$$

여기서  $x_1$ 은 거리,  $x_2$ 는 속도,  $T$ 는 모터의 시간 상수로  $T = 30 \times 10^{-3}$ [sec]이며,  $K_t$ 는 회전속도 상수로  $K_t = 262 \times 2 \times \pi / 60$  [rad/sec]이다.

식 (4)에 대하여 Runge Kutta fourth order 알고리즘을 이용하고, 0.01[ms] 스텝 사이즈 간격으로 모델링한 DC 모터의 위치제어에 대하여 제안한 퍼지논리 제어방식을 시뮬레이션 하여 제어성능을 검토한다.

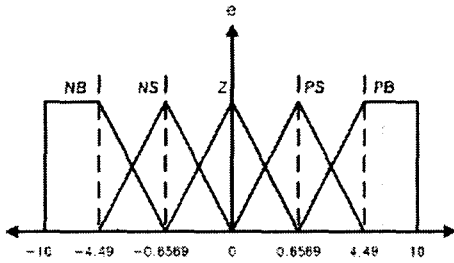
제안한 퍼지제어기의 소속함수는 오차(e)의 소속함수 변수값들을 영점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 변수 a로, 다시 a점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 b라는 변수로 두었고, 변수 a와 b의 간섭을 방지하기 위하여 각 변수의 구간을 지정

하였다. 오차 변화분(de)의 소속함수 변수값들은 영점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 변수 c로, 다시 c점에서 다음 소속함수의 최고점까지를 d라는 변수로 두었고, 오차의 소속함수 변수와 같이 간섭을 방지하기 위하여 각 변수의 구간을 지정하였다. 끝으로 출력(u)은 3개의 출력 소속함수로 구성하였으며 1개의 변수 f로 구성하였다. 소속함수의 양자화를 위하여 5개의 변수 a, b, c, d, f로 하여 염색체 스트링의 길이는 40[bit](5\*8[bit])로 구성하고, 퍼지제어기의 규칙수는 25개로 하여 염색체 스트링의 길이는 75[bit](25\*3[bit])로 구성하였다.

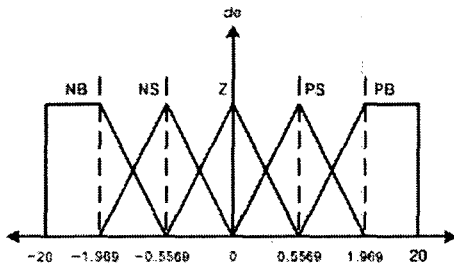
유전자 알고리즘에 적용하는 제어 파라미터들은 시행착오법에 의하여 교배율(Pc) = 0.6, 돌연변이율

(Pm) = 0.01을 사용하였고, 종료조건인 세대수는 30세대까지 하며, 적합도 함수는 제 3장의 식 (3)를 사용하며 최소화 될수록 적합도가 높은 것이 된다. 이러한 조건에서 수행한 제한한 퍼지논리 제어기의 최적화 된 퍼지제어기 소속함수의 양자화는 그림 5와 같다.

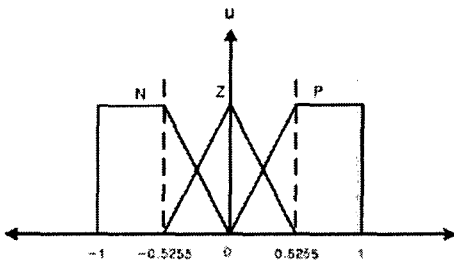
각 소속함수들의 최적화된 변수를 3차원 공간형태로 표현하면 그림 6과 같고, 유전자 알고리즘으로 최적화된 제한한 퍼지제어기의 25개 제어규칙은 표 2와 같다.



(a) 오차 소속함수  
(a) Error membership function



(b) 오차 변화분 소속함수  
(b) Differential error membership function



(c) 출력 소속함수  
(c) Output membership function

그림 5. 제안한 퍼지논리 집합에 대한 소속함수  
Fig 5. Membership functions for proposed fuzzy set.

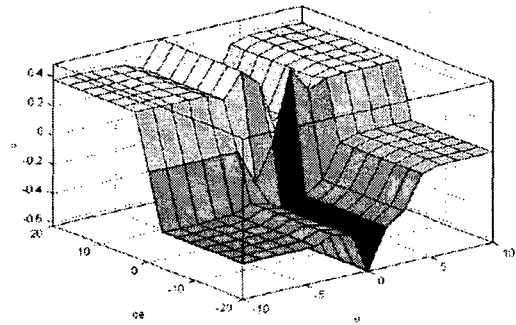


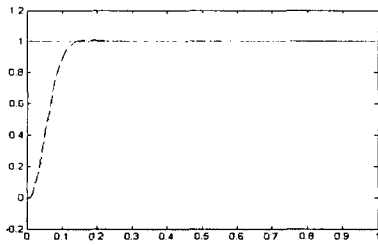
그림 6. 제안한 퍼지논리 집합의 소속함수 공간형태  
Fig 6. 3D Membership functions for proposed fuzzy set.

표 2. 제안한 퍼지제어기의 제어규칙 구성  
Table 2. Construction of control rule for proposed fuzzy set

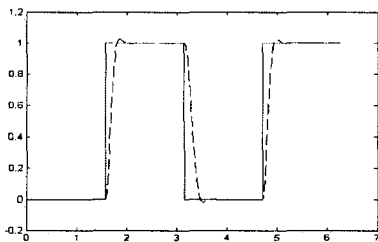
e \ de	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	Z	P	Z	P
NS	Z	P	Z	P	P
Z	N	P	Z	Z	Z
PS	Z	P	P	P	N
PB	Z	Z	Z	Z	Z

기준 궤적은 크게 set point(1[rad])와 point-to-point( $\pi, 2\pi$ [rad])의 두 가지로 주었으며, 초기상태는 위치 0, 속도 0으로 한 경우의 최적화된 퍼지제어기 소속함수와 제어 규칙을 가지고 두 가지의 궤적을 추적한 경우는 그림 7과 같다.

그림 7(a)에서 set point(1[rad]) 궤적에 대한 정정시간은 2초이고, 오버슈트(overshot)는 0.0842이었다. 그림 7(b)에서 point to point( $\pi, 2\pi$ [rad]) 궤적에 대한 정정시간은 2.09초와 5.09초이고, 오버슈트(overshot)는 둘 다 0.1101이었다. 이상과 같이 제안한 방식의 유용성을 확인하였다.



(a) Set point 추종제어



(b) Point to point 추종제어

그림 7. 25개의 규칙을 갖는 제안한 퍼지제어 방식의 응답곡선

Fig 7. Response curve of proposed fuzzy control method with 25 rules.

### V. 실험 및 검토

제 4장에서 시뮬레이션을 통해 최적화된 퍼지제어기의 소속함수와 제어규칙의 유용성을 확인하기 위해 플랜트로 단일링크 매니플레이터 제어실험을 한다. 단일링크 매니플레이터를 이용한 실험은 DC 서보모터를 이용하여 링크의 위치를 제어하는 실험이다. 실험 시스템은 PC와 내장형 인터페이스카드, 모터구동회로, 엔코더 계수회로, 모터, 엔코더, 링크(link)로 구성되며, PC와 내장형 인터페이스카드를 이용하여 모터를 동작시키고 링크의 현재 위치를 엔코더를 통해 계수하도록 설계하였다. 실험 시스템의 전체 블록선도는 그림 8과 같다.

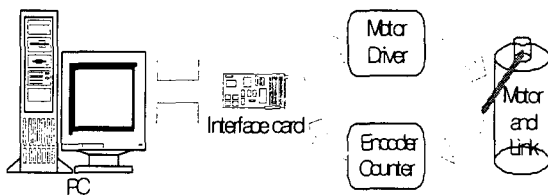


그림 8. 단일링크 매니플레이터 제어 시스템 블록선도  
Fig 8. The block diagram of one link manipulator control system.

실험을 위하여 제작한 단일링크 매니플레이터 제어시스템의 사진은 그림 9와 같고, 실험에 사용된 시스템 사양과 실험조건은 표 3과 같다.

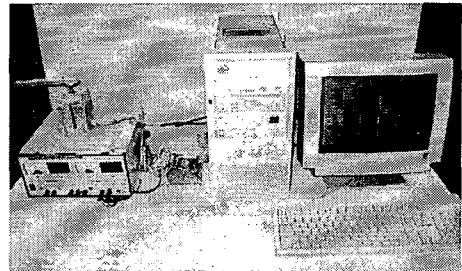


그림 9. 단일링크 매니플레이터 제어실험 장치사진  
Fig 9. The photograph of experimental equipment for one link manipulator.

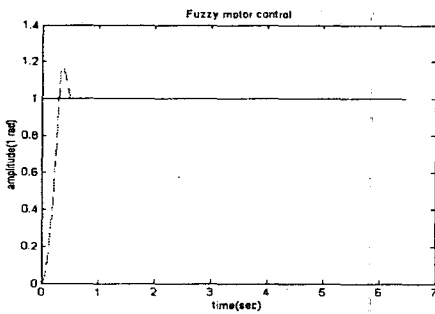
표 3. 위치제어 실험의 시스템사양  
Table 3. The system condition for position control experiment

모터	106-6004-11eo (Sanyo Denki) (DC 13.7[V], 4.8[A], 40[W])
모터구동	L298 구동회로
엔코더	2 CH(A,B상), 500[pulse/회전]
모터 제어방식	PWM(Pulse Width Modulation)방식
Sampling	1390[Hz], 0.72[ms]
링크	무게 51[g], 길이 150[mm],알루미늄
Interface Card	ISA 방식(8255, 8253 내장)

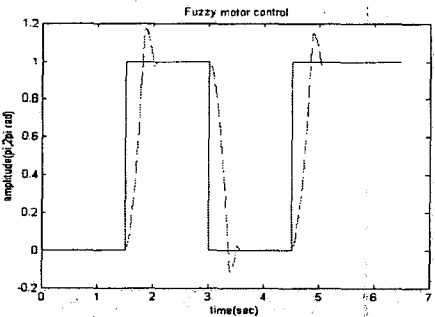
구성된 실험장치를 이용하여 표 3의 사양을 갖는 단일링크 매니플레이터를 제어대상으로 제안한 제어방식의 유용성을 비교 검토하기 위해서 추종제어 실험을 한다.

제안한 방식의 제어 알고리즘은 시뮬레이션을 위해 사용되었던 MatLab루틴을 모듈화 하여 Boland C 3.0 언어로 Pentium IV 1.7[GHz] 환경하에서 구현하였으며, MatLab의 Runge Kutta fourth order 알고리즘으로 해석하는 루틴대신에 그림 9에서 나타난 바와 같이 인터페이스 카드를 통하여 단일링크 매니플레이터에 연결하였다. 따라서 PC 내의 Boland C 3.0 언어 상에서 계산된 제어입력 신호는 인터페이스 카드, 구동회로를 거쳐 단일링크 매니플레이터에 전해져 기준궤적을 따라 이동하게 된다. 이 실험의 각변위 및 각속도의 검출은 단일링크 매니플레이터 관절에 부착된 엔코더 계수회로로부터 계산하고 인터페이스 카드를 통하여

PC내의 알고리즘 상에서 각변위를 라디안 값으로 환산하고, 검출된 각변위를 이용하여 각속도를 구한다. 실험조건은 초기위치를 0으로 설정하고 set point(1[rad]) 회전한 위치를 목표위치로 잡은 응답곡선은 그림 10(a)와 같고, 초기위치를 0으로 하고 point to point( $\pi, 2\pi$ [rad]) 회전한 위치를 목표위치로 잡은 응답곡선은 그림 10(b)와 같다. 응답곡선 그래프는 실험용 PC에서 데이터를 텍스트파일로 저장하여 MatLab 6.1에서 그래프화한 것이다.



(a) Set point 추종 제어



(b) Point to point 추종 제어

그림 10. 제안한 퍼지제어 실험 응답곡선

Fig 10. Response curve of experiment for proposed fuzzy control method.

그림 5-3에서 제안한 퍼지논리 제어방식의 set point 추종제어 결과는 정정시간은 0.53초이고, 오버슈트는 0.168080이다. point to point( $\pi, 2\pi$ [rad]) 추종제어 결과는 정정시간은 2.14초, 5.153초이고 오버슈트는 0.174360, 0.149240이다. 이상과 같이 실험결과에서도 제안한 제어방식의 유용성을 확인하였다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 퍼지논리 제어방식에서 전문가로부터 소속함수의 관계조정과 제어규칙 베이스 선정 등의 제어지식을 획득해야 하는 문제점을 해결하기 위하여 유전자 알고리즘으로 최적의 소속함수의 양자화와 제어규칙 베이스를 구성하여 우수한 제어성능을 갖는 방법을 제안하였다.

제안한 방식은 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 소속함수의 변수값들과 퍼지제어 규칙을 최적화한 값으로 구하고, 이렇게 구한 값들을 초기값으로 하여 퍼지제어기를 오프라인으로 구성하고 실제 하드웨어 상에서는 온라인으로 적용하는 방식이다.

제안한 방식의 유용성을 확인하기 위해서 DC 서보모터의 위치제어에 대하여 시뮬레이션 하였고, 단일링크 매니플레이터를 이용한 위치제어 실험을 통하여 제어성능이 우수함을 확인하였다.

앞으로의 연구과제는 소속함수 변수 갯수의 가감에도 능동적으로 변수값들을 최적화할 수 있도록 향상된 유전자 알고리즘을 적용해 보는 것과 유전자 알고리즘에서 염색체로 코딩한 퍼지제어기의 변수들을 초기에 랜덤하게 잡아도 최적의 변수를 구하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Yi Sheng Zhou, Lin Ying Lai, "Optimal design for fuzzy controllers by genetic algorithms", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, pp. 93-97, 2000.
- [2] Akec J., Steiner S. J., "Genetic algorithms based parameter and rule learning for fuzzy logic control systems", Fifth International Conference on Factory 2000-The Technology Exploitation Process, no. 435, pp. 325-328, 1997.
- [3] Chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part 1", IEEE transactions on systems, MAN, And Cybernetics, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.
- [4] Chen - Wei Xu, "Fuzzy systems identification", IEE Proceedings D, Control Theory and Applications, vol. 136, pp. 146-150, 1989.
- [5] Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithms & Engineering Design", John Wiley & Sons. Inc., 1997.
- [6] Goldberg D. E. "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and machine Learning", Addison-Wesley, New York 1989.

## 저자소개

### 정성부(Sung-Boo Chung)



동국대학교 전자공학과 제어계측  
전공 공학박사  
현재 서일대학 컴퓨터응용전자  
전공 부교수  
※관심분야 : 제어계측, 컴퓨터,  
회로해석