

교육용 로봇의 제어기 개발 및 퍼지 알고리즘의 구현

이준배^o, 김성현, 김도현, 안현식
국민대학교 전자 공학과

Development of a Controller for an Educational Robot and Implementation of a Fuzzy Algorithm

Jun-Bae Lee^o, Sung-Hyun Kim, Do-Hyun Kim, and Hyun-Sik Ahn
Dept. of Electronic Engineering, Kookmin University

In this paper, we develop a control system of an Educational Robot and implement a fuzzy algorithm for the position control. The MA2000 robot manufactured by TecQuipment Co. is the controlled system and 3 axes(waist, shoulder, elbow) of total 6 axes are controlled by the fuzzy logic-based algorithm.

The control system consists of an IBM PC, an interface board capable of A/D conversion and PWM generation, and a drive board for dc motors in joints of the robot. The experiments show that the modified fuzzy algorithm yields a better performance in steady-state than that of the conventional fuzzy algorithm.

I. 서론

Mamdani 에 의해 처음으로 사용된 퍼지 논리 제어기 (FLC:Fuzzy Logic Controller)는 현재 여러 분야에서 응용되고 있다[1]. 퍼지 논리 제어기는 정성적인 언어를 정량적으로 표현할 수 있다는 점과 인간의 언어를 사용하여 전문가의 행위를 모방할 수 있다는 점을 그 특징으로 한다[2,6]. 따라서 플랜트의 모델링이 정확하게 알려지지 않거나 기존의 방식으로 정의가 안되는 플랜트에 적용하는 경우에 특히 유리하다. 로봇트 매니플레이터는 대표적인 비선형적인 특성을 갖고 있는 플랜트이다. 로봇트 매니플레이터의 기존 방식에 있어서는 복잡한 모델링을 통한 동역학적인 해석에 의하여 제어를 하여왔다. 또한 완벽한 모델링이 이루어지기 어렵기 때문에 모델링 오차가 항상 존재한다[3]. 그러므로 모델링 오차에 민감하지 않은 퍼지 논리 제어기를 구현하여 로봇트의 경로 제어를 수행하고자한다.

본 논문에서는 기존의 MA2000 로봇트 기구부를 대상으로 하드웨어부와 소프트웨어부를 각각 개발하였으며 퍼지 알고리즘을 사용하여 연속 경로 제어에 이용하였다. 또한 퍼지 알고리즘의 오차 추종에 대한 성능 개선을 기하고자 입력 조건인 오차 소속 함수와 오차 변화율에 대한 소속 함수의 변화에 대한 실험 결과를 검토 하였다. 오차 소속 함수의 경우 오차가 Zero 인 부근의 소속 함수를 좁게 구현하고 오차가 큰 부분의 소속 함수를 넓게 구현하였다. 오차 변화율에 대한 소속 함수의 구현에 있어서는 오차 변화율이 Zero 인 부근의 소속 함수를 넓게 구현하고 오차

변화율이 큰 구간에서는 좁게 구현함으로써 오차 추종에 대한 개선을 기하고자 한다. 제시된 퍼지 알고리즘의 적용 실험을 위하여 로봇트 제어를 직접 제작하여 적용 실험에 사용하였다. 로봇트 제어 시스템은 IBM PC, ADC(Analog to Digital Converter)와 PWM(Pulse Width Modulation) 신호 발생기를 포함한 인터페이스 보드 및 모터 구동을 위한 구동부로 구성된다.

구성된 제어 시스템은 TecQuipment 사의 MA2000 로봇트의 3축에 대하여 연속 경로 제어를 하였다. 연속 경로 제어실험에 있어서는 일반적인 퍼지 제어기의 적용과 수정된 제어기에 적용 실험하였다.

II. 퍼지 제어기

본 논문에서 사용한 퍼지 변수 및 각 소속함수들은 다음과 같다.

- 입력 변수 : 각도, 각속도
- 출력 변수 : PWM 파형의 width
- 소속 함수

NB : Negative Big NS : Negative Small
ZO : Zero PS : Positive Small
PB : Positive Big

퍼지 제어 규칙과 소속 함수

퍼지 제어 규칙은 입력 변수로서 오차와 오차에 대한 변화율로 하였으며 출력 변수로는 PWM 신호의 width로 한다.

표 1. 퍼지 제어 규칙

e \ e	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	PB	PB	PS	PS	ZO
NS	PB	PB	PS	ZO	NS
ZO	PS	PS	ZO	NS	NB
PS	PS	ZO	NS	NB	NB
PB	PS	NS	NS	NB	NB

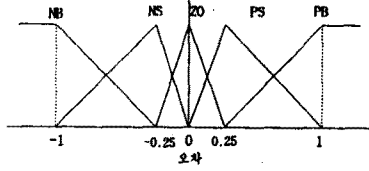


그림 1. 퍼지 추론시 사용되는 오차의 소속 함수.

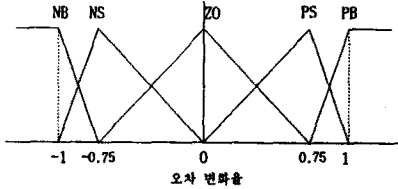


그림 2. 퍼지 추론시 사용되는 오차 변화율의 소속 함수

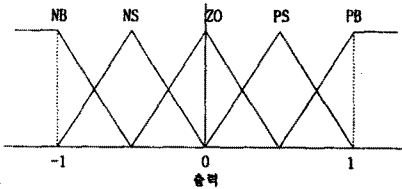


그림 3. 퍼지 추론시 사용되는 출력의 소속 함수.

본 논문에서는 그림 1과 같은 오차 소속 함수와 그림 2와 같은 오차 변화율의 소속 함수를 적용하였다. 일반적인 퍼지 적용 논문에서는 대부분 소속변수의 모양에 있어서 등변의 모양을 취한다[1,5]. 그림 1과 그림 2의 오차와 오차 변화율에 대한 소속 함수를 적용 시켰을 때의 오차 추종 능력의 향상됨을 보이고자 한다. 출력에 대해서는 그림 3과 같은 출력 소속 함수를 적용시켰다. 적용된 퍼지 제어규칙은 표 1과 같다.

III. 교육용 로봇의 수학적 모델링

본 논문에서 사용될 교육용 로봇의 기계적인 특성은 다음과 같다. 기계적인 특성에서는 위치에 대한 요소인 Kinematics와 Inverse Kinematics 만을 언급하였다.

3.1 Kinematics

Kinematics는 동역학을 제외한 동작을 다루는 학문으로 위치 변수의 미분방정식인 위치, 속도, 가속도를 산출해 낼 수 있다. 각 축에 대한 각도 변화가 주어졌을 경우 end effector의 위치를 결정하는 것이다[7]. TecQuipment사의 MA2000 교육용 로봇의 링크 파라미터는 다음 표 2와 같다.

표 2. 교육용 로봇의 링크 파라미터

l	α_{l-1}	a_{l-1}	d_l	θ_l
1	0	0	0	θ_1
2	-90°	0	0	θ_2
3	0	a_2	d_3	θ_3
4	-90°	a_3	d_4	0

Base frame에서 end effector까지의 Kinematics를 계산하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} P_x &= a_3 \cos \theta_1 \cos \theta_{23} - d_4 \cos \theta_1 \sin \theta_{23} + a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - d_3 \sin \theta_1 \\ P_y &= a_3 \sin \theta_1 \cos \theta_{23} - d_4 \sin \theta_1 \sin \theta_{23} + a_2 \cos \theta_2 \sin \theta_1 + d_3 \cos \theta_1 \\ P_z &= -a_3 \sin \theta_{23} - d_4 \cos \theta_{23} - a_2 \sin \theta_2 \end{aligned} \quad (2)$$

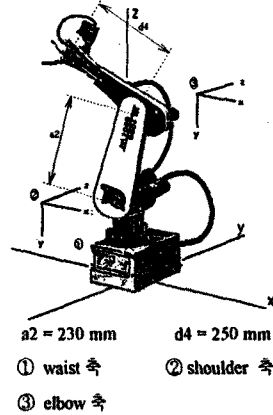


그림 4. MA2000 로봇의 외형 및 링크 변수.

3.2 Inverse Kinematics

Inverse Kinematics는 로봇의 end effector에 대한 위치를 주었을 경우 대응되는 각 관절 각도를 구하는 것이다. End effector의 위치를 (P_x, P_y, P_z) 라 가정하면 각 관절의 각도는 식 (3)과 같다. 각 축의 링크 변수는 그림 4와 같다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= A \tan 2(P_x, P_y) - A \tan 2(d_3, \pm \sqrt{P_x^2 + P_y^2 - d_3^2}) \\ \theta_3 &= A \tan 2(a_3, d_4) - A \tan 2(K, \pm \sqrt{a_3^2 + d_4^2 - K^2}) \\ K &= \frac{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 - a_2^2 - a_3^2 - d_3^2 - d_4^2}{2a_2} \\ \theta_2 &= A \tan 2(ad - bc, ac + bd) \\ a &= P_x \cos \theta_1 + P_y \sin \theta_1 \\ b &= P_z \\ c &= a_3 \cos \theta_3 - d_4 \sin \theta_3 + a_2 \\ d &= -a_3 \sin \theta_3 + d_4 \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (3)$$

IV. 로봇 제어를 위한 제어기의 설계 및 제작

본 논문에 사용한 MA2000 로봇은 6자유도이며 각 관절 구동모터로서 직류 서보 모터를 사용한다. 각 축의 위치 신호는 potentiometer에 의해 입력된다. TQ사의 기존 제어기의 경우 6502CPU를 사용하였으며 언어로는 BBC BASIC을 사용하였다. 또한 내부 ROM을 사용하여 로봇의 중요 연산 부분은 어셈블리로 프로그램 되어 있다[8]. 기존 로봇의 경우 사용자 임의의 제어 알고리즘 변형이 힘들게 되어 있는 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 퍼지제어 알고리즘의 적용 실험을 위하여 로봇 제어 시스템을 직접 설계 및 제작하였고 퍼지 제어기를 구현하였다. 실험에 사용된 교육용 로봇에 대한 제어 시스템의 구성도는 그림 5와 같다.

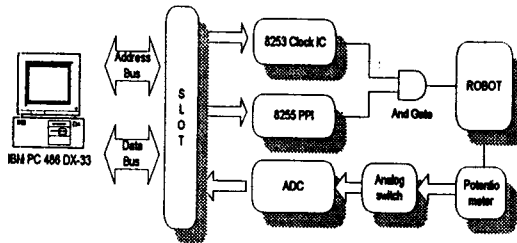


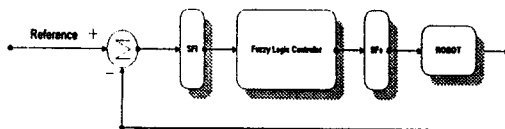
그림 5. 교육용 로봇 제어 시스템 구성도.

V. 로봇 적용 실험

퍼지 논리 제어기의 적용 실험은 TecQuipment사의 MA2000 교육용 로봇의 3개 축에 적용 실험하였다. 적용실험은 각 축의 기준위치에서 Sine그래프를 따라가도록 프로그램 하였다. 각 축의 움직이는 범위는 $\pm 60^\circ$ 이며 연속적으로 움직이도록 프로그램 하였다. Sine함수의 주기는 23.3초이다. 퍼지 제어기에서 입력 값은 오차와 오차의 변화율로 하였다. ADC의 입력 범위는 0에서 5V까지이며 전체 360° 범위를 1800으로 나누어 표현하였다. 다음 그림은 elbow의 위치에 대한 것으로 일반적인 오차 소속 함수일 때의 출력 특성과 수정된 오차 소속 함수를 가질 때의 출력 특성을 비교한 것이다. 각 관절에 대한 임출력 주파수는 40Hz로 하였다.

5.1 퍼지 제어기 구성

퍼지 제어기의 구성은 그림 7과 같다. 여기에서 SFi는 입력 오차와 오차 변화율에 대한 입력 스케일링 인자이다. 만약 어떤 오차값이 주어졌을 경우 스케일링 인자에 의하여 표준화 되어 퍼지 제어기에서 연산되도록 하였다. 연산된 결과는 표준화 된 것으로 실제적인 출력으로 사용하기 위해서 출력스케일 인자의 곱을 하여야 한다.



SFi: 입력 스케일링 인자

SFo: 출력 스케일링 인자

그림 7. 퍼지 제어기구성도.

5.2 적용실험 결과

waist, shoulder, elbow축의 경우 동작 범위는 $\pm 60^\circ$ 로 하였다. 그림 8과 그림 9는 elbow축에 대하여 일반 오차 소속 함수 적용과 수정된 오차 소속 함수 적용시 실험 결과이다. 전자의 경우 최대 오차는 5° 이며 후자는 2° 이다. 이러한 특성은 waist, shoulder축의 결과와도 유사하게 표현 되었다.

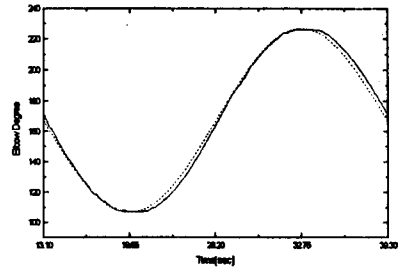


그림 8. elbow 축에 일반 오차 소속 함수 적용 결과.

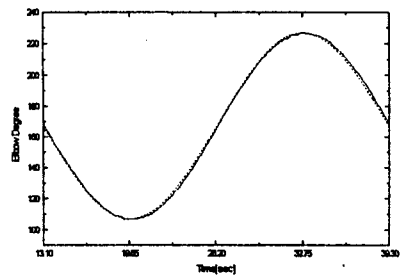


그림 9. elbow 축에 수정된 오차 소속 함수 적용 결과.

VI. 결론

본 논문에서는 교육용 로봇의 연속 경로 제어를 위한 퍼지 제어 시스템을 구현 하였다. 로봇에 대한 적용 실험으로 부터 퍼지 알고리즘의 구현시 수정된 퍼지 알고리즘의 구현이 일반적인 퍼지 알고리즘의 구현보다 오차 추종 능력이 향상되었음을 알 수 있었다. 그러나 기존 로봇의 위치 센서의 정확도 결함으로 인하여 정밀 제어 구현을 하지 못하였다. 또한 DC 시보 모터에 있는 기어의 backlash현상으로 인해 극복할 수 없는 위치 오차가 존재하였다. 하지만 퍼지 알고리즘의 구현에 있어 입력 소속 함수의 수정은 일반적인 시스템의 특성보다 좋은 특성을 가져올 수 있었다.

참고 문헌

- [1] E. H. Mamdani, "Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant," *Proc. Inst. Elect. Eng.* Vol 21, No 1585, 1974.
- [2] M. Sugeno, "An Introductory Survey of Fuzzy Control," *Information Science* 36, pp.59-83, 1985.
- [3] A. K. Bejczy, "Robot Arm Dynamics and Control," *Technical Memo 33-669. Jet Propulsion Laboratory.* 1974.
- [4] 김도현의 6인, 핵심 퍼지 시스템, 에드텍, 1994.
- [5] 대한 전자 공학회, FUZZY 시스템 이론 및 응용, 1991년 단기간과.
- [6] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller-Part I and Part II," *IEEE Tr. on SMC*, Vol. 20, No. 2, March/April, 1990.
- [7] J. J. CRAIG, *Introduction to Robotics Mechanics and Control-Second Edition*, ADDISON WESLEY, 1989.
- [8] TecQuipment, *MA2000 Software Description*.