

유전알고리즘을 이용한 모델추종형 퍼지제어기 설계에 관한 연구

*송명근, *임승욱, *황기현, *박준호
*부산대학교 전기공학과

A Study on Design of Reference Model Following Fuzzy Controller Using Genetic Algorithm

*M. G. Song, *S. W. Lim, *G. H. Hwang, *J. H. Park
Department of Electrical Engineering, *Pusan National University

Abstract - This paper proposes a reference model following control system using fuzzy logic controller and genetic algorithm. A fuzzy logic controller is designed such that plant output follows the output generated by a reference model. In this paper, first-order and second-order reference model with no overshoot and fast rise time is designed. Experiment results show the effectiveness of the proposed controller in tracking property and robustness.

1. 서론

비선형 혹은 시간지연 시스템에 대한 종래의 제어 방식은 복잡한 수학적 기법을 필요로 하는 현대제어 이론이 사용되었으나, 최근에는 이런 형태의 시스템에 대해 지능제어(퍼지제어, 신경회로망제어 등)방법 [1-2]이 도입되고 있는데 특히 퍼지제어기는 제어시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 정성적이고 불확실한 경우에 뛰어난 제어성능을 나타낸다. 그러나 퍼지제어기가 좋은 제어성능을 얻기 위해서는 퍼지제어기에 사용되는 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 조정해야 하는데 기존에는 전문가의 경험과 지식 또는 시행착오법으로 결정하였으며, 최근에는 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적화 알고리즘인 진화연산을 이용하여 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조하고 있다. 따라서 본 논문에서 진화연산 중에서 해의 다양성과 수렴속도면에서 좋은 특성을 나타내는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조하였다.

본 논문에서 기준모델과 제어대상 플랜트의 차수가 서로 다를 경우에도 플랜트의 출력이 기준모델의 출력에 잘 추종하는 모델추종형 퍼지제어기를 설계하였다. 제시한 모델추종형 퍼지제어기를 비선형 특성을 가진 직류모터 속도제어시스템을 제작하여 실 시스템에 적용, 제어성능을 검증하고자 한다.

2. 퍼지제어 이론 및 유전알고리즘

퍼지 이론의 응용은 많은 분야에서 적용되고 있다. 그 중에서도 퍼지제어 분야는 널리 실용화되고 있는데, 그 이유는 첫째, 기존의 정확한 수학적 모델을 기초로 설계되는 제어기와는 달리 인간의 의사결정방식을 도입하여 보다 인공지능적인 제어를 할 수 있고, 둘째, 제어시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 정성적이고 불확실한 경우에 기존의 제어기들보다 우수한 제어성능을 나타내기 때문이다. 일반적인 퍼지제어기는 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화과정으로 구성되고, 본 논문에서 퍼지추론 방법으로 Mamdani의 max-min 방법, 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.

본 논문에서는 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조하기 위해서 자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 확률적인 최적화방법 또는 개체간의 체계적인 정보 교환을 통해 탐색 공간을 조사해 나감으로써 주위환경에 알맞은 가장 적절한 해를 얻고자 하는 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 사용하였다.

3. 유전알고리즘을 이용한 모델추종형 퍼지제어기 설계

모델추종형문제는 기준모델과 제어대상 플랜트의 차수가 서로 다를 경우에도 플랜트의 출력이 기준모델의 출력에 잘 추종하는 장점 [3,4]을 가지고 있다. 본 논문에서 유전알고리즘을 이용한 모델추종형 퍼지제어기를 제안하였고, 그림 1에 나타내었다.

본 논문에서 사용한 퍼지제어기는 전건부와 후건부에 대해서 각각 7개의 퍼지변수를 사용하였기 때문에 총 퍼지변수의 수는 전건부와 후건부의 소속함수 꼭지점, 밀변 길이의 1/2을 합하면 42개이다. 그러나 본 논문에서는 제로 소속함수에 대해서 대칭이 되도록 퍼지변수의 소속함수 모양을 정했기 때문에 유전알고리즘을 사용하여 자기동조해야 할 퍼지변수의 수

4. 실험 결과

4.1 하드웨어 구성

DC 모터속도제어를 위한 전체시스템 구성은 그림 3과 같다. 전체시스템은 전력단, 제어기 및 PWM 전류제어기로 구성된다. 그리고 피지제어기는 IBM PC 486에서 C 언어로 프로그래밍하여 구현하였고, 속도신호와 제어신호를 PC와 인터페이스 하기 위해서 818 Lab Card를 사용하였다. PWM 전류제어기는 피지제어기의 전류지령치와 실제전류를 비교하여 게이트 드라이버 회로를 구동하기 위한 신호를 발생한다.

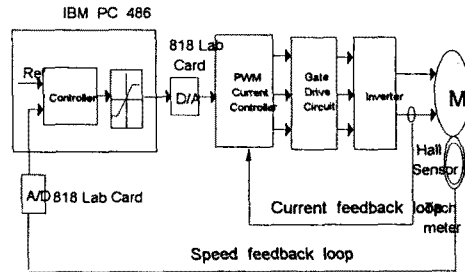


그림 3 직류모터 구동을 위한 하드웨어 구성도

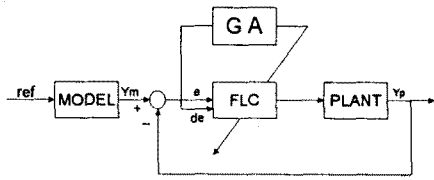
제시한 방법의 유용성을 입증하기 위해 본 논문에서 사용한 기준모델은 시정수가 0.23초, 상승시간은 0.5초인 1차지연 시스템과 최대 퍼센트 오버슈트가 10[%]이고 상승시간이 0.5초, 대역폭이 4.27[rad/sec]인 2차 시스템을 선정하였다.

$$G_{m1}(s) = \frac{1}{0.23s + 1} \quad (2)$$

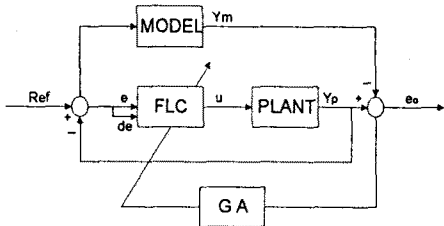
$$G_{m2}(s) = \frac{18.28}{s^2 + 5.98s + 18.28} \quad (3)$$

4.2 실험 결과

그림 4는 기준모델 중에서 2차 시스템의 경우에 대해 유전알고리즘으로 자기동조된 피지변수의 소속함수 모양을 나타내었다. 그림 5는 자기동조시 기준모델과 실제플랜트의 출력응답특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 실제플랜트의 출력이 기준모델의 출력에 잘 추종함을 알 수 있다. 모델추종형 피지제어기의 강인성을 평가하기 위해 임펄스 외란이 인가된 경우에 대해 기준모델과 실제플랜트의 출력응답특성을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보는 것처럼 외란이 인가되었을 경우에도 강인한 제어성능을 나타냄을 알 수 있었다.



(a) 직렬형 구조



(b) 병렬형 구조

그림 1 유전알고리즘을 이용한 모델추종형 피지제어기

는 21개이다. 따라서, 유전알고리즘으로 소속함수를 자기동조하기 위해서 그림 2와 같이 삼각형 소속함수의 꼭지점과 밑변 길이의 1/2을 하나의 스트링으로 구성하였다.

S ₂	m ₄	m ₅	m ₆	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈
S ₁	m ₁	m ₂	m ₃	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄
⋮							
S _n	m _{n-2}	m _{n-1}	m _n	w _{n-3}	w _{n-2}	w _{n-1}	w _n

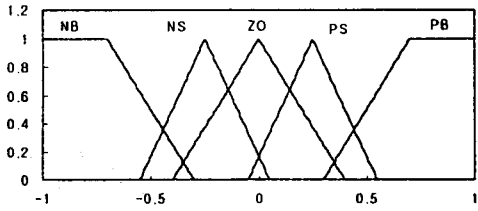
여기서, m_i : 소속함수의 꼭지점
 w_i : 소속함수의 밑변 길이의 1/2
 S₁ : 오차의 소속함수
 S₂ : 오차 변화분의 소속함수
 S₃ : 출력부의 소속함수

그림 2 스트링의 구성

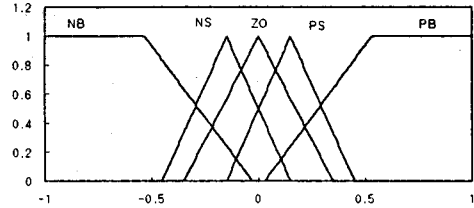
각 스트링을 평가하기 위해서 본 논문에서는 T시간 동안에 취득한 기준모델 출력과 실제 플랜트 출력간의 오차제곱의 합의 평균을 이용하여 식 (1)과 같이 정하였다.

$$\text{Fitness} = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N (\text{error}(k))^2} \quad (1)$$

여기서, error(k) = Y_m(k) - Y_p(k)
 Y_m : 기준모델 출력
 Y_p : 실제 플랜트 출력
 N : T시간 동안의 데이터의 수

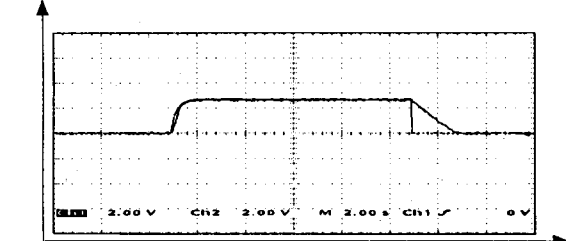


(a) 오차 소속 함수

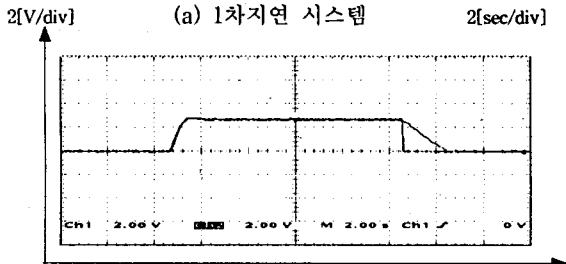


(b) 오차 변화율 소속함수

그림 4 자기동조된 소속함수(2차 시스템)



(a) 1차지연 시스템



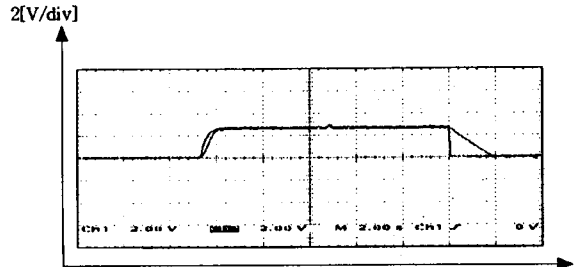
(b) 2차 시스템

그림 5 기준 모델과 실제 플랜트의 응답

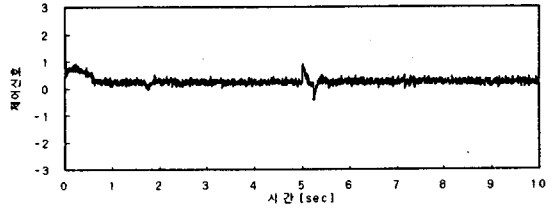
5. 결 론

본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조하는 모델추종형 퍼지제어기의 설계 및 적용방법을 제안하였다.

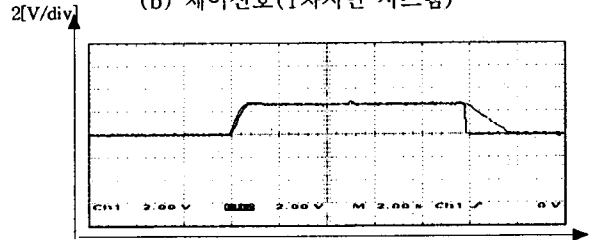
제한한 방법의 유용성을 입증하기 위해 비선형 특성을 가진 직류모터 속도제어시스템을 제작하여 실제 실험을 해 본 결과, 실제플랜트의 출력이 기준모델에 잘 추종함을 확인하였다. 또한 모델추종형 퍼지제어기의 강인성을 평가하기 위해 임펄스 외란을 인가하였을 때에도 모델추종형 퍼지제어기는 강인한 제어성을 나타내었다.



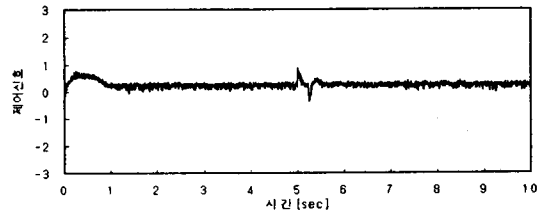
(a) 플랜트 응답(1차지연 시스템)



(b) 제어신호(1차지연 시스템)



(c) 플랜트 응답(2차 시스템)



(d) 제어신호(2차 시스템)

그림 6 기준모델과 실제플랜트의 응답(외란인가시)

참 고 문 헌

- [1] E. H. Mamdani and S. Appilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", Int. J. Man-Machine Stud, Vol. 7, pp. 1-13, 1975
- [2] Abraham Kandal, gideon Langholz, "fuzzy Control System", CRC Press, 1994
- [3] N. Kobayashi, T. Nakamizo, & M. Takada, "Model Matching and Model Following Control", System and Control, Vol. 32, No. 3, pp. 199-206, 1988
- [4] I. Suga, "Linear Control System Optimalally Following Model Step Response", Trans. of SICE, Vol. 6, No. 2, pp. 175-181, 1970