

유전알고리즘을 이용한 강인한 DC 서보제어기의 설계

김동완^{*} · 황기현^{**} · 황현준^{***} · 남징락^{*} · 박준호^{**}
 * 동명 대학 전기과 · ** 부산대학교 전기공학과 · *** 포항공과대학교 전기과

**A Design of the Robust Servo Controller for DC Servo-Motor
 Using Genetic Algorithm**

Dong-Wan Kim^{*} · Gi-Hyun Hwang^{**} · Hyun-Joon Hwang^{***} · Jing-Lak Nam^{*} · June-Ho Park^{**}

Dept. of Electricity, Tongmyong College, 505, Yong-Dang Dong, Nam-Ku, Pusan, Korea

Abstract - In this paper, we are applied the Genetic Algorithm (GA) to design of fuzzy logic controller (FLC) for a DC Servo-Motor Speed Control. GA is used to design of the membership functions and scaling factors of FLC.

To evaluate the performances of the proposed FLC, we make an experiment on FLC for the speed control of an actual DC servo-motor system with nonlinear characteristics. Experimental results show that proposed controller have better performance than those of PD controller.

1. 서론

직류 서보 모터는 교류 모터에 비해 제어가 용이한 장점 때문에 다양한 서보 시스템에 널리 사용되고 있다. 직류 서보 모터의 제어 방법으로 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 비례-적분(PI) 또는 비례-적분-미분(PID) 제어이다. 선형시스템에서는 PI, PID 제어기의 이득은 대부분 일정하며 제어기의 이득이 적절히 선정될 경우에는 좋은 제어 특성을 얻을 수 있다.

그러나 직류 서보 모터 제어에서 파라메타 변화, 마찰과 부하의 비선형 특성을 고려한다면 이득이 일정한 선형 제어기만으로는 고성능의 제어 특성을 기대하기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 PID 제어기의 이득을 제어시스템의 변화에 따라 적절히 조정하는 적응제어(adaptive control) 방법이 연구되었으나, 알고리즘이 복잡하고 많은 계산시간이 소요되어 실제로 제어기를 실현하기가 힘든 단점이 있다.

최근에는 이러한 비선형 시스템에 대해 퍼지제어, 신경회로망제어 방법[1,2]을 도입함으로써 종래의 제어방법보다 제어성능을 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다. 특히 퍼지제어기는 제어시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적이고 불확실한 경우에 뛰어난 제어 성능을 나타내고 있다.

그러나 퍼지제어기가 좋은 제어성능을 얻기 위해서는 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 조정해야하는데, 종래에는 전문가의 경험과 시행착오법에 바탕을 두었기 때문에 시스템에 대한 전문적인 지식없이 시스템에 적합한 소속함수를 결정하기가 어려웠다. 최근에는 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적화 알고리즘인 진화연산을 이용하여 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 동조하여 좋은 성능을 얻고 있다[3-5].

본 논문에서는 해의 다양성과 수렴 속도면에서 좋은 탐색

성능을 나타내는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 소속함수 모양 및 스케링 상수를 최적화 하였다. 제안한 방법의 유용성을 평가하기 위하여, 비선형 특성을 가진 직류 서보 모터의 속도 제어를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존의 PD 제어기 보다 우수한 제어 성능을 나타내었다.

2. 퍼지 제어기

일반적으로 퍼지제어기는 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 정성적이고, 불확실한 경우에 우수한 제어성능을 나타낸다. 또한 기존의 수학적 모델링을 기초로 한 제어기와는 달리 시스템의 입·출력 관계만으로도 제어기를 설계할 수 있다. 본 논문에서 사용한 퍼지규칙은 표 1과 같이 비례-미분형태의 퍼지 규칙을 사용하였다. 그리고 비퍼지화는 퍼지값인 퍼지추론 결과 값을 명확한 값의 제어 조작량으로 변환시켜주는 과정으로 본 논문에서는 무게중심법을 사용하였다.

표 1 비례-미분 형태의 퍼지규칙

e/de	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PM	PB	PB	PB

3. 유전알고리즘

진화연산은 자연 생태계의 진화 메카니즘을 모의한 확률적 탐색알고리즘으로 현재 유전알고리즘, 진화전략, 진화프로그래밍, 유전프로그래밍, 문화알고리즘 등의 연구 분야가 있다[3-5]. 이들 알고리즘들의 유사점은 주어진 최적화 문제를 하나의 해가 아닌 해집단으로 최적해를 탐색하며, 각 해를 랜덤하게 변화시키고 해들의 적합도를 결정 한 후 더 좋은 적합도를 가지는 해들을 이용하여 새로운 해집단을 생성한다는 점이다. 본 논문에서는 진화연산의 종류 중에서 해의 다양성과 수렴속도면에서 좋은 탐색 성능을 나타내는 유전알고리즘을 이용하였다.

4. 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기 최적 설계

본 논문에서는 확률적인 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 소속함수 모양과 입·출력 이득을 동조하였다. 그림 1은 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 소속함수 모양과 입·출력 이득을 동조하기 위한 구성도이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 퍼지제어기의 입력으로 기준속도의 오차와 오차의 변화분을 사용하였다.

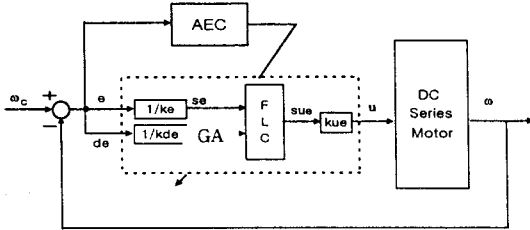


그림 1 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기의 구성도

그림 2는 본 논문에서 사용한 삼각형 소속함수를 나타내었으며, 퍼지제어기의 입·출력변수에 각각 7개의 퍼지변수를 사용하였으므로, 전체 소속함수는 21개가 되고, 모든 소속함수의 꼭지점과 폭을 동조하려면 63개의 변수가 필요하다. 그러나 63개의 변수를 적응진화알고리즘을 이용하여 동조하려면 탐색시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라, 수렴특성이 나쁘고, 컴퓨터 메모리 면에서도 많은 부담이 생긴다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제로(ZO) 소속함수의 모든 꼭지점을 영점에 고정시켰고, 각 소속함수의 폭은 모두 대칭으로 두었으며, 영점을 기준속도로 하여 모든 소속함수들을 대칭으로 구성하였다. 따라서 퍼지제어기 입·출력변수의 소속함수를 동조하는데 필요한 적응진화알고리즘의 스트링은 그림 3과 같이 삼각형 소속함수의 꼭지점이 세 개씩 필요하며, 폭이 네 개씩 필요하므로 21개의 변수와 입·출력 이득을 포함해서 총 24개로 스트링을 구성하였다. 여기서, NB는 Negative Big, NM는 Negative Medium, NS는 Negative Small 등을 나타내는 언어적인 변수이다.

그리고 해집단의 각 스트링을 평가하기 위하여 사용된 적합도 함수는 식 (1)과 같이 발전기 각속도의 절대치편차의 합을 사용하였다.

$$fitness = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N |\omega_c - \omega_k|} \quad (1)$$

여기서, ω_k : 실제 속도[rpm]

ω_c : 기준 속도[rpm]

N : T시간 동안 획득한 데이터의 개수

5. 실험 결과

직류 서보 모터의 속도제어를 위한 실제 구성은 그림 4와 같고 직류 서보모터의 정격은 75[v], 3.3[A], 3000[rpm]이며 전원부, 신호처리부, 제어부로 구성하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 전체 속도 제어 시스템은 전

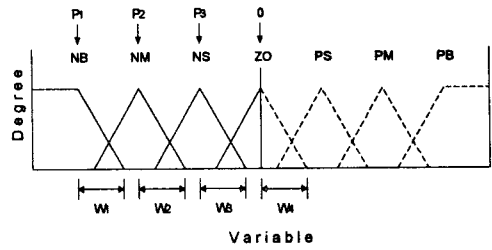


그림 2 대칭형 삼각형 소속함수

S_1	$P_{1,1}$	...	$P_{1,9}$	$W_{1,1}$	...	$W_{1,16}$	$SF_{1,1}$	...	$SF_{1,3}$
S_n	$P_{n,1}$	...	$P_{n,9}$	$W_{n,1}$	...	$W_{n,16}$	$SF_{n,1}$	...	$SF_{n,3}$

여기서, P_{ii} : 소속함수의 꼭지점
 W_{ii} : 소속함수의 밑변길이의 1/2
 SF_{ii} : 입·출력 이득
 n : 스트링 개수

그림 3 해집단의 구조

류루프와 속도루프로 구성되어 있으며, 속도루프의 샘플링 시간은 4[msec] 이다. 그림5는 실제 직류 서보 모터의 속도제어를 위한 실험 장치를 나타내었다. 제한한 방법에 의해서 동조된 퍼지제어기의 소속함수 모양은 그림 6에 나타내었고, 그림 7은 매 세대마다의 적합도의 추이를 나타내었다.

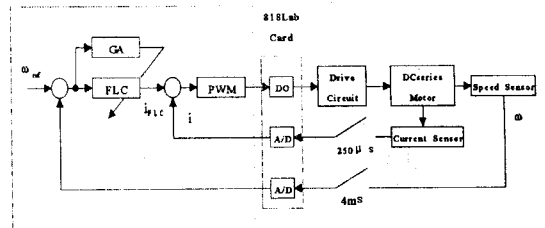


그림 4 직류 서보 모터 속도제어 시스템의 구성도

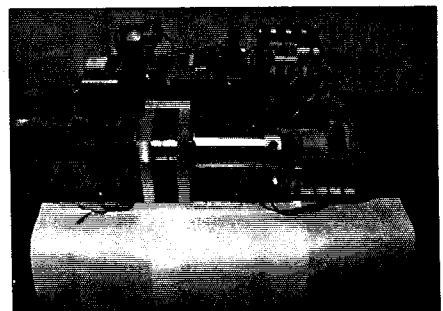
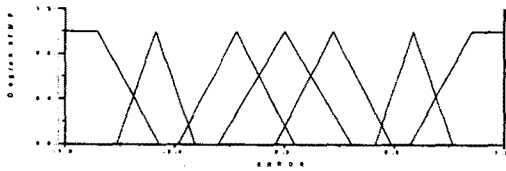
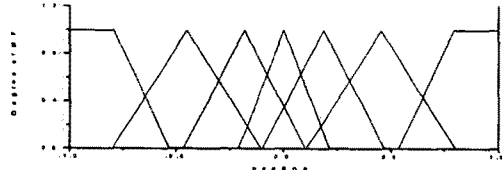


그림 5 실제 실험 장치



(a)오차의 소속함수



(b)오차 변화분의 소속함수

그림 6 동조된 FPSS의 소속함수

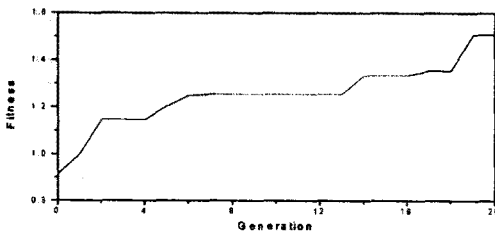


그림 7 매 세대마다 적합도 추이

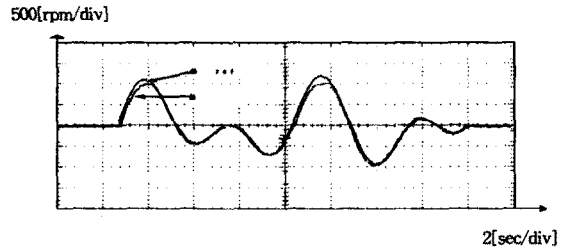
그림 8은 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 동조에 사용된 기준 속도에 대한 실제 속도 응답을 나타내었다. 그림 8에서 보는 바와 같이 퍼지제어기가 PD 제어기 보다 더 나은 추종 성능을 나타냄을 알 수 있다. 그림 9는 퍼지제어기의 동조에 사용되지 않은 기준 속도에 대한 실제 속도 응답을 나타내었다. 그림 9에서도 퍼지제어기가 PD제어기 보다 더 나은 추종 성능을 나타내었다.

6. 결론

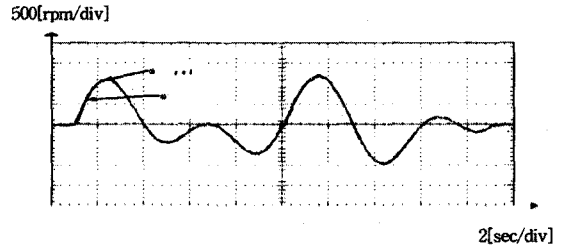
본 논문에서는 해의 다양성과 수렴속도면에서 좋은 탐색 성능을 나타내는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 소속함수 모양 및 스케링 상수를 최적화 하였다. 제안한 방법의 유용성을 평가하기 위하여, 비선형 특성을 가진 직류 서보 모터 속도 제어 시스템을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존의 PD 제어기 보다 더 우수한 제어 성능을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] Li-Xin Wang, Stable Adaptive Fuzzy Controllers with Application to Inverted Pendulum Tracking, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics-Part B : Cybernetics, Vol. 26, No. 5, pp. 677-691, Oct. 1996

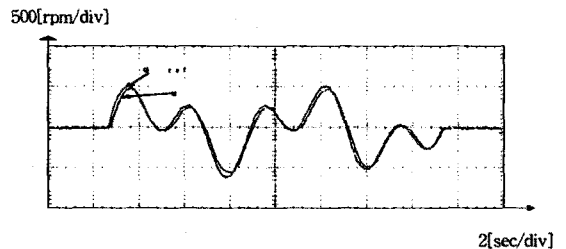


(a) PD 제어기

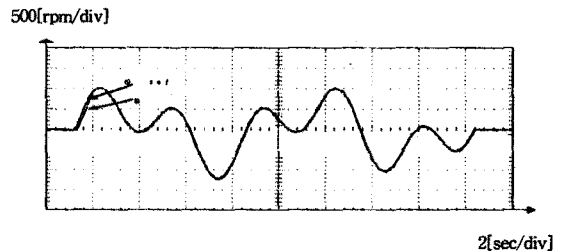


(a) 퍼지 제어기

그림 8 퍼지제어기와 PD제어기의 속도응답



(a) PD 제어기



(b) 퍼지제어기

그림 9 퍼지제어기와 PD제어기의 속도응답

[2] Abraham Kandel, Gideon Langholz, Fuzzy Control Systems, CRC Press, 1994Y. S. Kung and C. M. Liaw, A Fuzzy Controller Improving a Linear Model Following Controller for Motor Drives, IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol. 2, No. 3, pp. 194-201, Aug., 1994

[3] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley publishing Company, INC., 1989

[4] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1994

[5] Mitsuo Gen and R. Cheng, Genetic Algorithms & Engineering Design, A Wiley-Interscience Publication, 1997