

정밀 모터 제어를 위한 H/W 시스템의 구성

황현준, 운영대*, 김동완**
 포함 1 대학 전기과* · 동명대학 전기전자계열**

A Composition of H/W Systems for the Accurate Control of DC Motor

*Hyun-Joon Hwang *, Young-Dae Youn *, Dong-Wan Kim **
 Dept. of Electricity, Pohang College*, School of Electronics and Electricity, Dong-Myung College**

Abstract - In this paper, we constitute H/W systems for the accurate control of DC servo motor. This H/W systems are designed by applying a simple genetic algorithm (SGA) to the robust H_∞ control system and the intelligent Fuzzy control system of DC motor, respectively. To verify the effectiveness of the proposed systems, the characteristics of this systems are analysed and simulated.

1. 서 론

산업현장에서 주로 사용되고 있는 직류서보모터의 제어방법은 PLC 제어 또는 PID 제어방법 등을 주로 사용하고 있으나 이러한 제어 방법은 시스템의 노후화나 내부의 전기적 신호 및 외부잡음의 존재, 마찰과 부하의 비선형 특성 등을 고려한 실질적인 시스템에 대하여는 시스템의 오동작 및 정상적인 정밀제어를 할 수 없는 결점이 있다. 따라서 본 연구에는 이러한 결점을 보완하여 내부의 요소변화와 전기적 신호 및 외부잡음에 대하여 강인한 특성을 가지고 또한 동시에 초 정밀성을 가지는 모터 제어 시스템을 구성하고자 한다. 이를 위하여 강인한 H_∞ 제어기 그리고 지능제어가 가능한 퍼지 제어기의 설계에 최적화 기법인 유전 알고리즘을 적용, 프로그래밍하고 신호처리를 위한 H/W 시스템을 개발하여 그 유용성을 확인한다.

2. 본 론

2.1 유전 알고리즘(GA)

유전 알고리즘은 적자생존에 따른 확률적인 방법으로 최적의 해를 찾아가는 최적화 기법중의 하나이다. 유전 알고리즘의 특징 및 자세한 내용은 참고문헌[1]에 제시되어 있으므로 본 연구에서는 이를 생략한다.

2.2 유전 알고리즘을 이용한 H_∞ 제어기 설계

H_∞ 제어문제는 일반화 플랜트 P(s)와 제어기 K(s)로 이루어진 전체 폐루프 시스템을 안정하게 하고 외부입력과 오차신호사이의 전달함수인 선형분수변환식 F(P, K)의 H_∞-노음을 최소화하는 제어기 K(s)를 찾는 문제이다. 즉 H_∞ 제어문제는 식(2.1)과 같다.

$$\text{minimize } \|F(P, K)\|_{\infty} \quad (2.1)$$

여기서 $F(P, K) \in RH_{\infty}$

그런데 일반적으로 ∞-노음을 정확히 계산할 수 없으므로 다음과 같이 적절한 상한의 값 $\gamma (> 0)$ 를 주고 안정한 제어기 K(s)를 찾는다.

$$\|F(P, K)\|_{\infty} < \gamma \quad (2.2)$$

본 연구에서는 일반화 플랜트와 같은 차수의 제어기를 조직적으로 구할 수 있는 Glover-Doyle 알고리즘[2]을 사용하여 H_∞ 제어기를 설계한다. 여기서 혼합감도 문제

[3] 및 설계사양들을 동시에 만족하도록 여러 번의 시행착오를 거쳐 선정된 가중치 함수 W₁(s), W₂(s)는 각각 다음과 같다.

$$W_1(s) = \begin{bmatrix} w_{11}(s) & 0 & 0 \\ 0 & w_{12}(s) & 0 \\ 0 & 0 & w_{13}(s) \end{bmatrix} = \frac{g_{w1} \times (s + 5)}{s^2 + (0.0001 + 0.05)s + (0.0001 \times 0.05)} \times I_3 \quad (2.3)$$

$$W_2(s) = \frac{g_{w2} \times (s + 10)}{s + 1000} \times I_3 \quad (2.4)$$

또한 유전 알고리즘에 따른 개별 문자열의 적합도 $fit_{Infinity}$ 는 오차 신호 err_{fit} 에 대해 다음과 같다.

$$fit_{Infinity} = \frac{1}{1 + err_{fit}} \quad (2.5)$$

2.3 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기 설계

유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기[4]의 소속함수 모양과 입출력 이득을 동조하기 위해 퍼지 제어기의 입력으로 기준속도의 오차와 오차의 변화분을 사용한다. 그림 1은 삼각형 소속함수를 나타내었으며 퍼지 제어기의 입출력변수에 각각 7개의 퍼지 변수를 사용하였으므로 전체 소속함수는 21개가 되고 모든 소속함수의 꼭지점과 폭을 동조하려면 63개의 변수가 필요하다. 그러나 63개의 변수를 모두 동조하려면 탐색시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라 수렴특성이 나빠지고 컴퓨터 메모리 면에서도 많은 부담이 생긴다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제로(ZO) 소속함수의 모든 꼭지점을 영점에 고정시켰고 각 소속함수의 폭은 모두 대칭으로 두었으며, 영점을 기준 축으로 하여 모든 소속함수들을 대칭으로 구성하였다. 따라서 퍼지 제어기 입출력변수의 소속함수를 동조하는데 필요한 유전 알고리즘의 문자열은 삼각형 소속함수의 꼭지점이 세 개씩 그리고 폭이 네 개씩 필요하므로 21개의 변수와 입출력 이득을 포함해서 총 24개의 변수로 구성된다. 여기서 해집단의 각 문자열을 평가하기 위하여 사용된 적합도 함수 fit_{Fuzzy} 는 식(2.6)과 같이 전동기 각속도의 절대치 편차의 합을 사용한다.

$$fit_{Fuzzy} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^N |\omega_{ref} - \omega|} \quad (2.6)$$

여기서 ω 는 실제속도[rpm], ω_{ref} 는 기준속도[rpm] 그리고 N은 T시간 동안 획득한 데이터의 개수이다.

2.4 H/W 시스템의 구성

제안한 설계방법의 유용성을 검증하기 위해 직류 서보모터의 속도제어를 위한 실험장치를 구성하였다. 직류

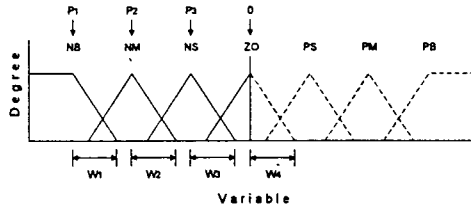


그림 1. 대칭 삼각형 소속함수

서보 모터의 속도제어를 위한 실제 구성은 그림 2에 나타내었다. 전체 속도 제어 시스템은 전류루프와 속도루프로 구성되어 있으며 전류루프의 샘플링 시간은 250 [μsec]이고 속도루프의 샘플링 시간은 4[msec]이다. 그림에서 전류센서에 의해 250 [μsec]로 측정된 전류값은 하드웨어 인터페이스 카드인 818Lab Card를 이용하여 A/D변환을 거친 후 제어기의 출력과 비교된다. 이 전류값은 PWM제어기의 입력이 되고, PWM 출력은 818Lab Card의 디지털 출력포트를 통해 구동회로로 들어간다. 구동회로는 이 신호를 이용하여 직류 서보 모터를 제어한다. 속도루프에서는 속도센서인 엔코더를 이용하여 4[msec]로 서보 모터의 속도를 측정하고 818 Lab Card의 A/D 변환을 거쳐 기준속도와 비교한 후 H_∞ 제어기 및 퍼지 제어기의 유전 알고리즘 입력신호를 계산한다. 한편 그림 3은 속도제어를 위한 서보 모터의 구동 회로이며 그림 4는 실제 모터 제어 시스템의 구성사진이다.

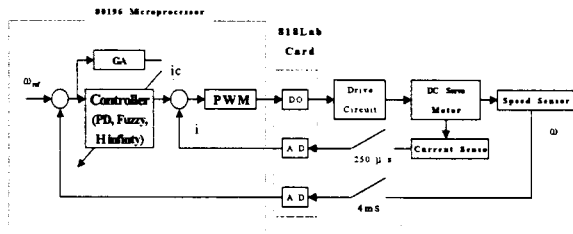


그림 2. 정밀 서보 모터 제어 시스템의 구조

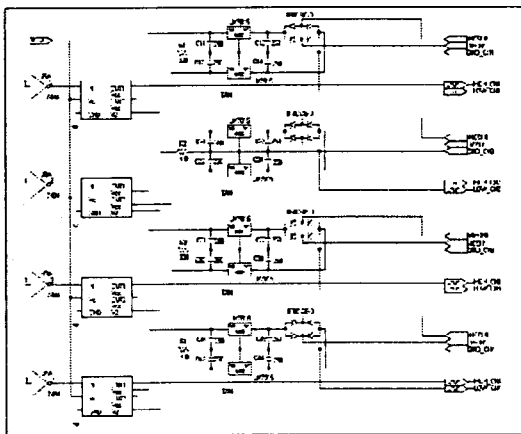


그림 3. DC 서보 모터의 구동회로

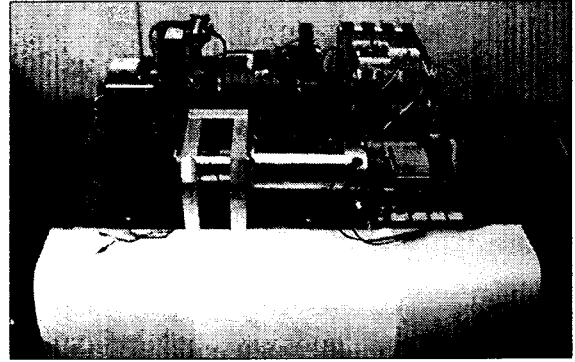


그림 4. 정밀 모터 제어를 위한 대상 및 제어 드라이버

2.5 실험결과

실험을 위해 정격 75[V], 3.3[A], 3000[rpm]의 직류 서보 모터 시스템을 이용하였다. 그리고 제안한 방법과 성능을 검증하기 위해 산업현장에서 주로 사용되는 PD 제어기[5]를 비교대상으로 하였다. 그림 5에서 PD 제어기의 정정시간은 약 2.5[sec]이고 H_∞ 제어기의 정정시간은 약 0.5[sec], 퍼지 제어기의 정정시간은 약 1.2 [sec]로 H_∞ 제어기와 퍼지 제어기가 PD 제어기보다 약 2.0[sec] 정도 더 빨리 정상상태에 도달하며 H_∞ 제어기의 특성이 가장 뛰어난 것을 알 수 있다. 그리고 H_∞ 제어기 제어기와 퍼지 제어기의 오버슈트는 약 1[%] 정도이며 H_∞ 제어기는 약간의 진동이 존재함을 알 수 있다. 따라서 제안된 방법으로 설계된 H_∞ 제어기와 퍼지 제어기가 정정시간 및 오버슈트에서 PD 제어기 보다 더 나은 제어성능을 보임을 알 수 있다.

그림 6은 5[sec]후에 시스템의 동조에 사용되지 않은 새로운 기준입력에 대한 PD 제어기, H_∞ 제어기 및 퍼지 제어기의 실제 속도응답을 각각 보였다. 그림에서 PD 제어기의 정정시간은 약 2.5[sec]이고 H_∞ 제어기와 퍼지 제어기의 정정시간은 약 0.5[sec]로 H_∞ 제어기 및 퍼지 제어기가 PD 제어기보다 정정시간에서 약 2.0[sec] 정도 더 빨리 정상상태에 도달함을 알 수 있다.

그림 7은 5[sec]후에 시스템의 파라미터가 20[%] 정도의 변동하였을 때의 PD 제어기, H_∞ 제어기 및 퍼지 제어기의 실제 속도응답과 제어입력을 보였다. 그림에서 시스템의 파라미터가 변한 시점에서 H_∞ 제어기와 퍼지 제어기가 PD 제어기보다 더 빨리 정상상태에 도달하였고 최대 언더슈트에서는 H_∞ 제어기가 퍼지 제어기보다 더 작은 값을 가짐을 알 수 있다.

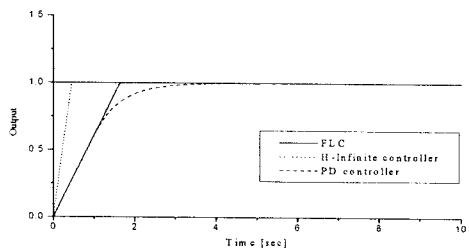
3. 결 론

본 연구에서는 초정밀 모터제어를 위하여 강인한 H_∞ 제어기와 지능제어가 가능한 퍼지 제어기에 최적화 기법인 유전 알고리즘을 적용하고 그 타당성을 확인하기 위해 H/W 시스템을 구성하고 실험하였다. 그 결과, 제안한 방법에 의해 설계된 H_∞ 제어기 및 퍼지 제어기가 정정시간 및 오버슈트 그리고 시스템의 파라미터 변동 등에서 현재 산업현장에서 널리 사용되고 있는 기존의 PD 제어기에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

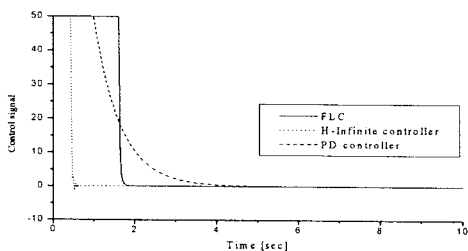
[참 고 문 헌]

- [1] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [2] J. C. Doyle, B. A. Francis, A. R. Tannenbaum, *Feedback Control Theory*, Macmillan Publishing Company, 1992.

- [3] J. M. Maciejowski, *Multivariable Feedback Design*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [4] C. L. Karr, E. J. Gentry, "Fuzzy Control of pH Using Genetic Algorithms", *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 46-53, February, 1993.
- [5] 金鍾植, *線形制御시스템工學*, 淸文閣, 1993.

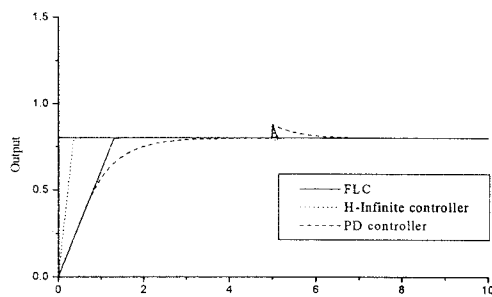


(a) 속도 응답

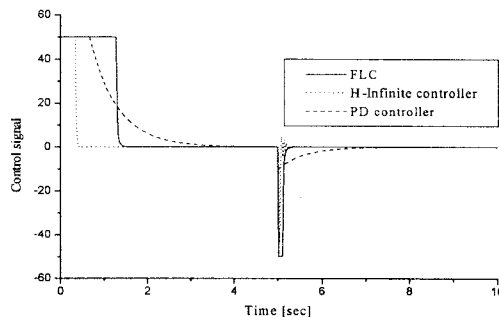


(b) 제어 입력

그림 5. 기준신호에 대한 H_{∞} 제어기, 퍼지 제어기 및 PD 제어기의 속도응답특성

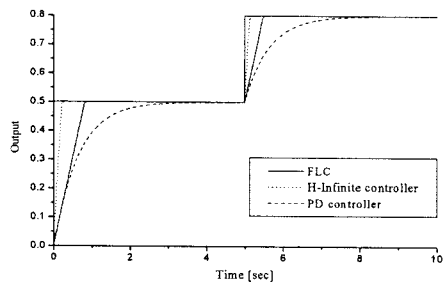


(a) 목표신호 응답

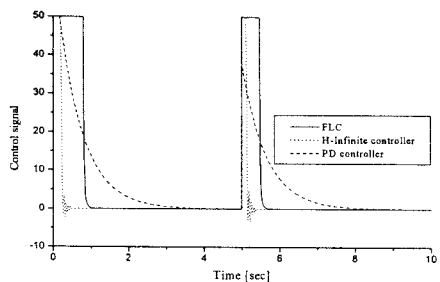


(b) 제어 입력

그림 7. 파라미터 변동에 대한 H_{∞} 제어기, 퍼지 제어기 및 PD 제어기의 속도응답특성



(a) 속도 응답



(b) 제어 입력

그림 6. 미지신호에 대한 H_{∞} 제어기, 퍼지 제어기 및 PD 제어기의 속도응답특성