

외란에 강인한 신경망 PID 제어방식

김영렬 * · 이정훈 * · 강성호 * · 임성진 * · 정성부 * * · 임기환 *
* 동국대학교 전자공학과 , * * 서일대학 전자과

Neural Network PID control method for robust disturbance

Young-lyul Kim * · Jung-hoon Lee * · Seong-ho Kang * · Sung-jin Lim * · Sung-boo Chun * * ·
Ki-hwan Eom *

*Dept. of Electronic Eng, Dongguk University, **Dept. of Electronic Eng, Seoil College
E-mail : kimyl007@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 시스템에 발생하는 외란의 영향을 최소로 하기 위해 다층 신경회로망을 이용한 강인 PID 제어 방식을 제안한다. 제안한 방식은 제어 시스템에 발생하는 불특정의 외란을 필터링 하기 위해 다층 신경망을 이용한다. 외란이 포함된 실제 플랜트의 입력을 신경망의 출력으로 보상하여 플랜트를 순수하게 PID 제어기로만 제어하도록 한다.

DC 모터에 대한 시뮬레이션과 MM-LDM(Moving Magnetic Linear DC Motor)의 위치제어 실험을 통해 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust PID control method with neural network to minimize the influence of the disturbance to happen in the system. The proposed method, the neural network filters out the disturbance of control system. The plant input which a disturbance is included is compensated to the output of neural network and the plant is controlled only PID controller. Through the DC motor control simulation and MM-LDM position control experiment, we could confirm the proposed method is robust at the disturbance in control system.

키워드

PID, neural network, MM-LDM, Disturbance

1. 서 론

PID(Proportional, Integral, Derivative) 제어기는 일반적인 공정 제어에 많이 사용되는 제어 방식이다. 근대 이후 PID 제어기보다 정교한 현대 제어 이론들이 많이 선보였지만 PID 제어기는 쉽게 조작할 수 있고, 구현이 쉽다는 특성으로 여전히 산업 현장에 널리 이용되고 있다[1][2].

그러나 이러한 PID 제어기를 설계 하는데 있어서 제어 조건에 맞는 적절한 파라미터를 구하는 문제와 외란에 강인한 설계가 큰 관건이 된다. 실제로 산업 현장의 PID 제어기는 대부분 숙련된 기술자의 수동 조작을 통한 시행착오(trial and error)법

으로 각 파라미터의 값이 동조되고 있다. 이 경우 제어기를 설계하는데 많은 시간이 소비된다는 단점과 함께 적절하게 설계되었다 하더라도 시스템에 외란(disturbance)이 첨가 될 경우 그 정확성은 확신할 수 없다[3][4].

본 논문에서는 외란의 영향을 최소로 하기 위해 다층 신경회로망을 이용한 강인 PID 제어 방식을 제안한다. 제안한 방식은 제어 시스템에 발생하는 불특정의 외란을 필터링 하기 위해 다층 신경망을 이용한다. 실제 플랜트와 모델링한 동정기 사이의 오차를 이용하여 다층 신경망을 학습시켜 외란이 포함된 플랜트의 입력을 신경망의 출력으로 보상하여 순수하게 PID 제어기로만 제어 되도록 한다.

제안한 방식의 유용성을 확인하기 위해 영상을 이용하여 DC 서보 모터에 대한 위치 제어 시뮬레이션과 MM-LDM(Moving Magnetic Linear DC Motor)의 위치 제어 실험을 하였다.

II. 강인 제어방식

그림 1은 신경회로망을 PID 제어기의 전방향으로 사용한 기존의 강인 PID 제어 방식의 블록 선도이다.

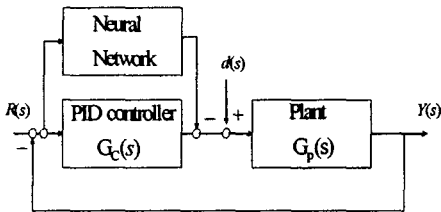


그림 1. 기존의 강인 PID 제어 방식

블록선도에서 외란 $d(s)$ 의 영향을 상쇄하기 위해 PID 제어기에 신경회로망을 이용하여 플랜트의 입력을 보상한다. 신경망은 입출력 관계를 역으로 추적하여 플랜트 입력단의 외란을 상쇄시키는 역할을 한다. 플랜트에 대한 모델링과 별도의 저역 통과 필터가 필요하지 않기 때문에 구현이 쉽다는 장점이 있다[5][6][7].

III. 제안한 강인 PID 제어방식

일반적인 PID 제어방식을 비롯하여 PID 파라미터 동조 방식은 시스템에 외란이 섞일 경우 정확한 제어가 어려워진다는 단점이 있다. 이러한 시스템의 불특정 외란에 의한 영향을 보상하기 위하여 다층 신경망을 이용한다. 그림 2는 신경회로망을 외란의 필터링으로 이용한 강인 PID 제어 방식에 대한 블록선도이다.

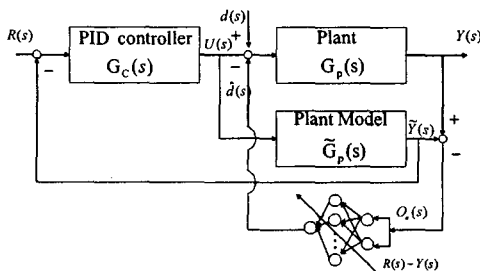


그림 2. 제안한 방식의 구성도

그림 2에서 $\tilde{G}_p(s)$ 는 실제 플랜트 $G_p(s)$ 를 정확히 모델링 한 식이 되며 이론적으로 $\tilde{G}_p(s) = G_p(s)$

이다. $d(s)$ 는 플랜트의 입력에 영향을 끼치는 불특정 외란이며 PID 컨트롤러에서 나온 출력 $U(s)$ 는 실제의 플랜트와 그 모델의 공통된 입력으로 들어간다. $\hat{d}(s)$ 는 $Y(s)$ 와 $Y(s)$ 사이의 오차를 입력으로 갖고 역으로 $d(s)$ 를 동정하는 다층 신경회로망의 출력값이다.

플랜트의 출력 $Y(s)$ 는 모델링으로부터 나온 출력 $\tilde{Y}(s)$ 와 비교되며 그 차이 $O_e(s)$ 는 식 (1)과 같다.

$$O_e(s) = \tilde{G}_p(s)U(s) - G_p(s)(U(s) + d(s) - \hat{d}(s)) \\ = \tilde{Y}(s) - Y(s) \quad (1)$$

$O_e(s)$ 는 외란 $d(s)$ 로 인해 생긴 실제 출력과 모델링 출력 사이의 오차이다. 플랜트가 정확히 모델링 되었다면 $\tilde{G}_p(s) = G_p(s)$ 가 되므로,

$$O_e(s) = -\tilde{G}_p(s)[d(s) - \hat{d}(s)] \quad (2)$$

가 된다. 외란 $d(s)$ 의 영향을 보상하기 위한 다층 신경회로망의 구성은 그림 3과 같다.

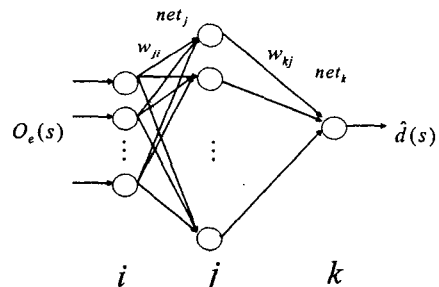


그림 3. 다층 신경회로망

다층 신경회로망의 목적 함수(E)는 식 (3)과 같다.

$$E = \frac{1}{2}(R(t) - Y(t))^2 \quad (3)$$

출력층과 은닉층 사이의 연결강도 조정식은 식 (4)이다.

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta w_{kj} \quad (4)$$

따라서 은닉층과 출력층 사이의 연결강도 조정식은 식 (5)로 표현된다[5][6].

$$\frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial U_T} \frac{\partial U_T}{\partial O_N} \frac{\partial O_N}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial w_{kj}} \quad (5)$$

마찬가지로 입력층과 은닉층 사이의 연결강도 조정식을 나타내면 식 (6)과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial U_T} \frac{\partial U_T}{\partial O_N} \frac{\partial O_N}{\partial net_k} \frac{\partial O_j}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial w_{ji}} \quad (6)$$

IV. 시뮬레이션 및 실험

4-1. DC 모터 제어 시뮬레이션

제안한 방식에 사용된 다층 신경망은 입력층, 출력층, 은닉층의 뉴런을 각각 4, 10, 7개로 구성하였다. 각 연결강도의 초기값과 바이어스의 초기값은 [-0.1 0.1]사이의 랜덤값으로 하였으며, 학습률은 0.02를 취하였다. 입력은 단위 계단 입력을 주었으며 플랜트의 입력으로 들어가는 외란은 $0.2\sin(2t)$ 로 하였다. 기존의 강인 PID 제어 방식과 제안한 방식의 강인 PID 제어 방식의 학습 횟수는 900회로 했다. 그림 4, 5는 각각의 시뮬레이션 결과이다.

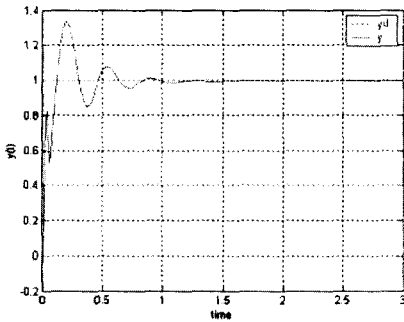


그림 4. 기존의 강인 PID 제어 방식의 출력

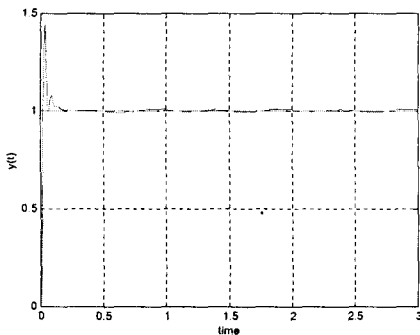


그림 5. 제안한 강인 PID 제어 방식의 출력

4-2. MM-LDM 위치 제어 실험

그림6은 실험의 플랜트로 사용된 MM-LDM의 외관 사진이다.

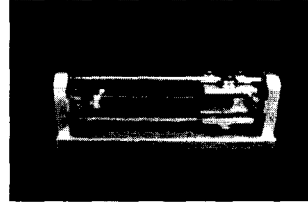


그림 6. MM-LDM

기존의 PID 견실 제어기와 제안한 방식에 사용된 다층 신경망은 입력층, 은닉층, 출력층에 각각 4, 10, 1개의 뉴런으로 구성 하였으며 각 뉴런의 초기 연결 강도와 바이어스는 [-0.1 0.1]사이의 랜덤값으로 하였으며, 학습율은 0.2를 취하였다. 기존 입력과 외란은 식 (7)과 (8)에 나타내었다.

$$y_d(t) = \begin{cases} 90 & 0 \leq t < 3 \\ 30 & 3 \leq t < 6 \\ 60 & 6 \leq t < 9 \end{cases} \quad (7)$$

$$d(t) = 5\sin(6\pi t) \quad (8)$$

초기 MM-LDM의 위치 및 속도를 모두 0으로 하였고 각각의 제어기에 대해서 PID 파라미터 값은 $K_p=27, K_i=0.0001, K_d=10$ 으로 고정하고 실험하였다. 기존의 강인 PID 제어 방식과 제안한 방식의 신경회로망 학습 횟수는 5000회로 했다.

그림 7은 기존의 강인 PID 제어 방식의 실험 결과이다.

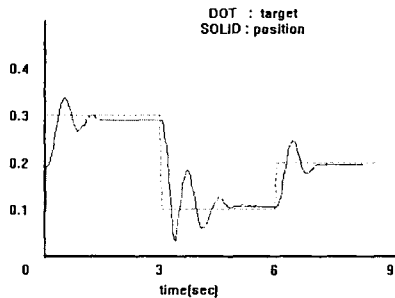


그림 7. 기존의 강인 PID 제어 방식의 출력

그림 8은 제안한 강인 PID 제어 방식의 실험 결과이다.

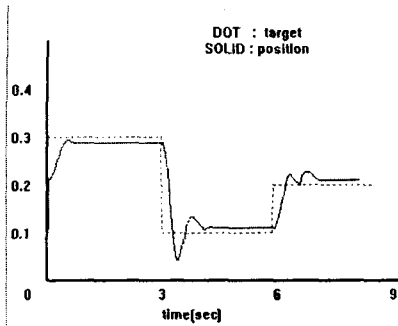


그림 8. 제안한 강인 PID 제어 방식의 출력

Intelligent Control Systems : Theory and Applications, IEEE PRESS, 1996.

- [7] 최현택, 김봉근, 서일홍, 정완균, "구동기 포화가 있는 건설 고속 운동 제어기 설계 및 정밀 위치 결정 시스템에의 적용", 제어 자동화 시스템 공학 논문지, Vol 6. pp. 768-776. 2000.

V. 결론

본 논문에서는 제어 시스템에서 발생하는 불특정의 외란에 대한 영향을 상쇄시키기 위해 다층신경망을 이용한 강인 PID 제어 방식을 제안하였다. 제안한 방법은 실제 제어 대상과 그 모델링 사이의 출력 오차로 다층 신경망을 통해 외란을 역추적하여 상쇄시키는 방법이다. 제안한 방식의 유용성 확인을 위해서 비선형 시스템인 DC 서보 모터의 위치 제어 시뮬레이션과 MM-LDM의 위치제어 실험을 통하여 기존의 강인 PID 제어 방식과 비교 검토 하였다.

그 결과 제안한 방식이 외란의 영향 속에서 오버슈트 및 정정 시간이 줄어들어 목표값에 빠르게 수렴하는 강인 제어 방식임을 확인 할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Saiful Akhyar and Siegeru Omatu, "Neuro-morphic Self-Tuning PID Controller", IEEE, Vol. 1. pp. 552-557,1993.
- [2] Rusnak. I, "The generalized PID controller for stochastic systems", IEEE Convention in Israel, pp. 145-148, 2000.
- [3] Wang QG, LEE TH, Fung HW, Bi Q, "Pid tuning for improved performance", IEEE Transactions on Control Systems Technology, V. 7, 457-465, 1999.
- [4] Chang, P.H, Park, S.H. Zhang, "The development of anti-windup scheme and stick-slip compensator for time delay control", American Control Conference, Vol. 6, pp. 24-26 ,1998.
- [5] Ho, W.K, Lee, T.H, Han, H.P, Hong, Y, "Self-tuning IMC-PID control with interval gain and phase margins assignment", IEEE Control Systems Technology, Vol. 9, pp. 535-541, 2001.
- [6] Madan M, Gupta, Naresh K. Sinha,