

신경망을 이용한 PID제어기 이득값 적용에 대한 수렴 속도 향상

Convergence Progress about Applied Gain of PID Controller using Neural Networks

손 준 혁*, 서 보 혁**
(Jun-Hyug Son, Bo-Hyeok Seo)

Abstract -Recently Neural Network techniques have widely used in adaptive and learning control schemes for production systems. However, generally it costs a lot of time for learning in the case applied in control system. Furthermore, the physical meaning of neural networks constructed as a result is not obvious. And in practice since it is difficult to the PID gains suitably lots of researches have been reported with respect to tuning schemes of PID gains. A Neural Network-based PID control scheme is proposed, which extracts skills of human experts as PID gains. This controller is designed by using three-layered neural networks. The effectiveness of the proposed Neural Network-based PID control scheme is investigated through an application for a production control system. This control method can enable a plant to operate smoothly and obviously as the plant condition varies with any unexpected accident. This paper goal is convergence speed progress about applied gain of PID controller using the neural networks.

Key word : neural, PID, control method, convergence speed

1. 서 론

실제 산업 현장에서 사용되는 여러 생산 장비와 생산 환경을 조절하는 보조 장비들을 제어하는데 PID제어기가 많이 사용되고 있다. PID제어기는 사용이 편리하며, 비교적 우수한 성능을 가지고 있어 생산 장비의 제어에 용이하다. 이런 산업 현장에서의 PID제어기에 신경망을 적용함으로써 기존에 사용하던 PID제어기에 용이하게 신경망 제어기를 추가할 수 있어 산업 현장에서의 사용에 거부감이 없고, 기존 PID제어기의 구조를 수정 없이 제어기 설계가 가능하다[1]. 이 논문에서 설계된 신경망 PID제어기는 제어기에 인가되는 이득값을 기존 PID제어기보다 적용에 대한 수렴 속도를 향상함으로써 전체 시스템의 성능 향상을 가져온다. 그리고, 실제 시스템에서 신경망 PID제어기와 기존 PID제어기에 이득값을 적용하여 수렴 속도를 비교하는 사례 연구를 통해 검증하고자 한다.

2. 본 론

이 논문에서 적용된 제어기는 기존의 PID제어기의 구조에 신경망 제어기를 Feedforward Controller로 사용하는 구조를 제안하였다. 이와 유사한 제어기로서 Kawato등이 제안한 제

어기 구조가 있으나 제안된 구조에서는 플랜트의 역을 학습하는 형태가 아니고, 플랜트의 정방향 동력학을 학습한 후, 그 신경망의 역을 구하여 제어하는 것이다. PID알고리듬은 신경망의 학습오차를 보완해주는 역할을 하고, 신경망 PID제어기는 PID제어기의 성능을 학습에 의하여 꾸준히 향상시키는 역할을 한다[2]. 이런 신경망 PID제어기에서 추정된 이득값을 제어기에 적용하여 수렴 속도를 향상시킨다. 향상된 수렴 속도를 MatLab v6.5를 통해 검증하고 기존 PID제어기와 비교한다. 사례연구의 결과에서 볼 수 있듯이 기존의 제어기보다 향상됨을 확인했다.

2.1 전체 시스템 구조

전체 시스템의 구조는 신경망을 기반으로 한 신경망 PID제어기와 산업 현장에서 사용되는 시스템으로 구성된다. 신경망 PID제어기는 신경망 부분과 PID 제어기 부분으로 구성되고, 신경망 부분에서는 신경망의 입력으로 y , u , e , r , p 이 주어진다. 이 값들이 신경망에 의한 연산을 통해 K_p , K_i , K_d 로 출력되어 PID제어기의 입력으로 작용한다. Command signal(r)은 PID제어기의 입력으로 작용될 뿐만 아니라 신경망의 입력으로도 작용한다. 그리고 PID제어기의 출력(u)은 시스템의 입력과 신경망 PID제어기의 신경망 부분의 입력으로 작용함으로써 시스템의 제어 사양 최적의 이득값을 추정한다. 이렇게 추정된 이득값을 시스템에 적용하여 수렴속도를 향상시킨다. 시스템의 출력(y)은 Command signal(r)과의 연산으로 error signal(e)을 만들어 신경망

저자 소개

* 正會員 : 慶北大學校 大學院 電氣工學科 博士課程
** 正會員 : 慶北大學校 電子電氣工程部 教授·工博

PID제어기의 신경망 부분과 PID제어기 부분의 입력으로 작용한다.

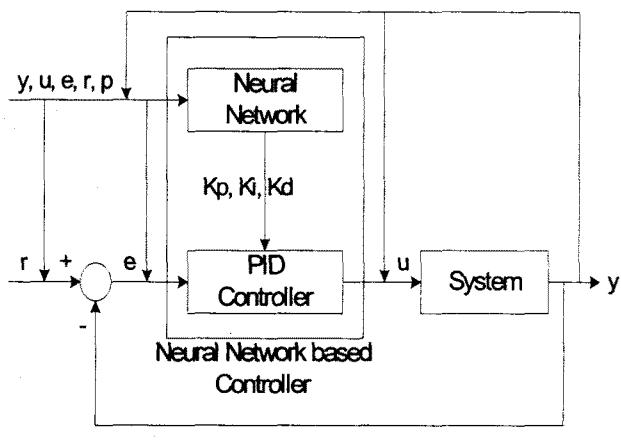


그림 1. PID 제어기의 전체 제어 구조도

figure 1. structure of PID controller

u : input

y : system output signal

r : command signal

e : error signal $\Rightarrow e(t) = r(t) - y(t)$

p : command signal이 동작할 때 방향 지시 signal

$$\Rightarrow p(t) = \begin{cases} n & (\Delta r(t) > 0) \\ p(t-1) & (\Delta r(t) = 0) \\ -n & (\Delta r(t) < 0) \end{cases}$$

n : positive constant $\Rightarrow \Delta = 1 - z^{-1}$.

$u(t)$: control input

$$\Rightarrow \Delta u(t) = K_p \left(\Delta + \frac{T_s}{K_i} + \Delta^2 \frac{K_d}{T_s} \right) e(t)$$

여기서 K_p 는 비례이득, K_i 는 적분이득, K_d 는 미분이득, T_s 는 sampling time이며 연산에 의해 이득값은 신경망에서 출력이 된다[3].

2.2 구조신경망의 구조

정규화 된 데이터가 신경망을 통과하게 되면, 그 데이터는 숫자로 바뀌게 된다. 이는 수많은 데이터를 일일이 저장하거나 데이터 전체를 가지고 비교하는 것이 아니라, 그 데이터를 나타내는 숫자 다시 말해, 신경망으로 패턴을 분석한 값으로써 데이터를 비교하게 하는 것이다[4]. 정규화 된 데이터를 숫자로 바꾸기 위해서는 어떤 기준에 의해서 신경망을 통과시켜야 일관된 패턴분석이 가능할 것이다. 그래서 우선 패턴분석에 필요한 기준 패턴을 만들어서 그 패턴을 기준으로 신경망을 학습시킨다. 위에서 학습에 이용된 알고리듬은 널리 알려진 역전파법[5, 6]을 사용했다. 일반적으로 다층의 신경망이 있을 수 있다. 이 논문에서는 3층의 신경망을 역전파법으로 학습시키는 방법을 설명한다.

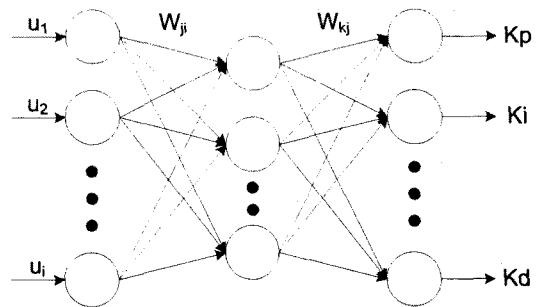


그림 2. 신경망의 구조

figure 2. structure of neural networks

여기서 정규화 된 데이터를 위한 평가함수 E

$$\Rightarrow E = \frac{1}{2} e^2(t+1)$$

이며, 신경망 출력은 각각 K_p , K_i , K_d 로 결정된다.
output layer:

$$\Delta W_{kj}(t+1) = -n \frac{\partial E}{\partial W_{kj}} + \alpha \Delta W_{kj}(t)$$

hidden layer:

$$\Delta W_{ji}(t+1) = -n \frac{\partial E}{\partial W_{ji}} + \alpha \Delta W_{ji}(t)$$

3. 사례 연구와 실험 결과

3-1 사례 연구

전체 시스템 구조도에서 시스템 부분으로는 차수가 4차이고 지연(delay)이 -0.6의 그림 3과 같은 로봇 암을 대상으로 실험했다. 그리고 이 시스템의 제어 사양으로 첨두치(overshoot)가 30%이하이고, setting time까지의 (sum of square error + square control input)를 최소화하는 것을 목적으로 한다.

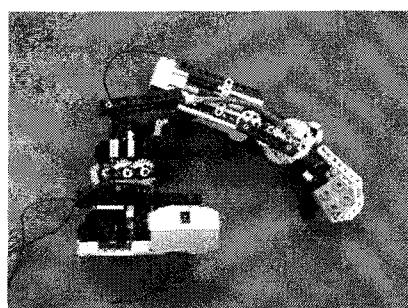


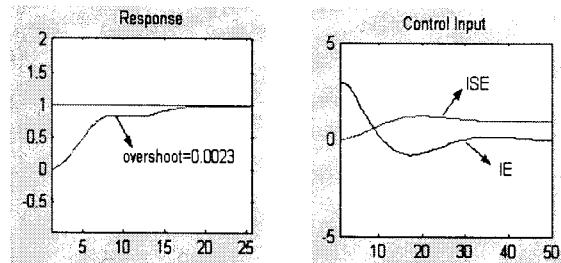
그림 3. 로봇 암

figure 3. Robot arm

3-2 실험 결과

신경망 PID제어기에서 추정된 K_p 이득값은 7.38이고, K_d 이득값은 0.7, K_i 이득값은 173000이다. 실험결과 첨두치는

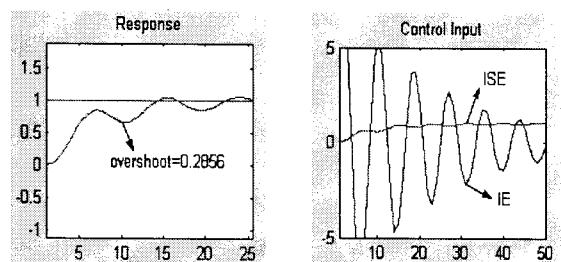
0.0023, (sum of square error + square control input)은 0.0442로 추정되었다. 반면 기존 제어기에서의 K_p 이득값은 8.52이고, K_d 이득값은 0.78, K_i 는 138300이다. 실험결과 첨두치는 0.2856, (sum of square error + square control input)은 0.0876로 측정되었다. 그림 4와 5는 각각 신경망 PID제어기와 기존 제어기의 첨두치와 제어입력의 결과 과정이다.



ISE=Integral of Square Error, IE =Input Error

그림 4. 신경망 PID제어기의 첨두치와 제어 입력

figure 4. Overshoot & control input of neural networks
PID controller



ISE=Integral of Square Error, IE =Input Error

그림 5. 기존 제어기의 첨두치와 제어 입력

figure 5. Overshoot & control input of PID controller

그리고 이 논문에서 추정된 이득값을 시스템에 적용하여 수렴 속도를 향상시킨 결과를 그림 6에 나타냈다.

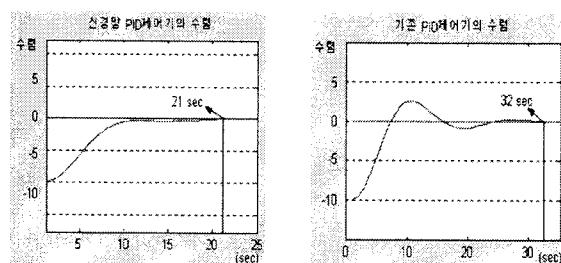


그림 6. 신경망 제어기와 기존 제어기의 수렴 시간 비교

figure 6. Convergence time comparison of Neural Network-based
PID controller & General PID controller

3-3 실험 결과

신경망 PID제어기와 기존 PID제어기에 추정하여 적용한 각 이득값과 시스템 결과인 첨두치와 (sum of square error + square control input)의 sum 그리고 각 제어기에 적용하여 수렴하는 시간을 표 1에 비교하였다.

표 1. 신경망 PID제어기와 기존 PID제어기의 비교표

table 1. Comparison table of Neural Network-based PID controller & General PID controller

제어기	신경망 PID제어기	기존 제어기
추정된 이득값	$K_p=7.38$ $K_d=0.7$ $K_i=173000$	$K_p=8.52$ $K_d=0.78$ $K_i=138300$
첨두치	0.0023	0.2856
sum	0.0442	0.0876
수렴 시간	21 sec	32 sec

신경망 PID제어기와 기존 PID제어기의 비교표와 같이 각 제어기에 이득값을 적용했을 때 신경망 PID제어기가 기존의 제어기보다 수렴 속도가 향상됐음을 확인했다.

참 고 문 헌

- [1] Takagi, S.-I., Oki, T., Yamamoto, T., Kaneda, M., "A Skill-Based PID Controller Using Artificial Neural Networks", IEEE International Conference on Volume 5, pp. 4454 -4459, 1997.
- [2] Jeong-Woo Lee, "Inversion Control of Nonlinear Systems with Neural Network Modelling", IEE Proceeding D(Control System and Application) 9 vol, pp 481-488, 1997.
- [3] Omatsu, S., Iwasa, T., Yoshioka, M., "Skill-Based PID Control by Using Neural Networks", IEEE International Conference on Volume 2, pp. 1972 -1977, 1998.
- [4] 손준혁, 서보혁, "신경망을 이용한 PID 제어기의 제어 사양 최적화의 이득값 추정", 대한 전기 학회지 정보 및 제어 학술회의 논문집, pp 717-719, 2003.
- [5] Jacek M. Jurada, "Introduction to Artificial Neural Systems", PWS, pp 163-206, 1992.
- [6] Kumpati S. Narendra, Kannan Parthasarathy, "Identification and Control of Dynamical systems Using Neural Networks", IEEE trans. on Neural Networks, Vol. 1, No. 1, pp 4-27, 1990.