

신경망을 이용한 오차 신호 보상

박진우*, 이수성**, 하홍곤*

* 동의대학교 전자공학과, ** 부산대학교 전자공학과

Compensation of Error Signal using a Neural Network

Jin-woo Park*, Soo-sung Lee**, Hong-gon Ha*

* Dept. of Electronic Eng. Dong-eui Univ., ** Dept. of Electronic Eng. Pusan Univ.

Abstract - This paper describes design method of control system with a pre-compensator using a neural network to compensate a error signal between a reference signal and system response. The neural network which is used here is the mixed structure and it's algorithm is a back propagation that modify coupling coefficients. Applying this method to the position control system using DC servo motor as a driver, we verify the usefulness of this method with simulation.

를 구동원으로 하는 위치 제어계에 적용하여 제안된 방식의 유효함을 시뮬레이션으로 확인하였다.

2. 신경망을 이용한 I-PD 제어계

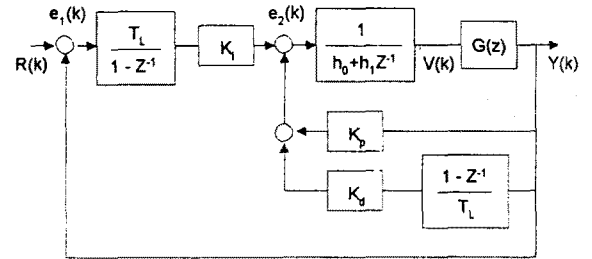
2.1 신경망을 이용한 I-PD 제어계의 구성

전치 보상기를 갖는 I-PD 제어계의 구성도는 그림 1과 같다.⁽⁷⁾

1. 서 론

현대 사회의 산업현장에서 설비의 자동화는 산업의 현대화 정도를 가늠할 척도가 될 만큼 산업현장에 미치는 영향이 매우 크다. 자동화가 증가됨에 따라 여러 가지 복잡한 제어 시스템이 등장하게 되었고, 각 공정에서 고속화, 고정밀화등의 제어를 요하게 된다. 고속화, 고정밀화를 요구하는 위치 제어에서는 제어가 용이하고 제어 성능이 양호한 직류 서보 전동기가 구동원으로 널리 이용되고 있으며, 마이크로 프로세서를 이용한 전동기 제어 방식들이 많이 사용 되고 있지만⁽¹⁾ 제어계 내부의 지연시간, 시정수, 외란등으로 양호한 특성을 얻기 어려워, 속응성의 개선, 안정성 향상에 대한 많은 연구가 되고 있다.⁽²⁾

지금까지도 널리 사용되고 있는 PID 제어기나 I-PD 제어기에서 외란이나 부하변동에 의해서 응답편차가 생길 경우 이것을 보상하기 위해서 비례 계수를 크게 하여야 하지만 이 비례계수를 크게 하면 잡음에 민감해 지고 미소 변동에 대하여 큰 진동이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 제어계의 주변환경이나 비선형 요소에 의한 제어대상의 파라미터 변동 및 외란에 대하여 제어기의 이득을 재 조정 할 필요가 있으며,⁽³⁾ 이것에 대하여 여러 연구가 이루어지고 있으며, 신경망을 이용한 학습제어에 대해서 많이 보고 되고 있다.⁽⁴⁾ 그 중에서도 목표 신호와 실제 출력과의 자승 오차를 평가 함수로 하여 이것을 최소화 하는 학습방법인 역 전파법 (Back propagation) 알고리즘이 제안되어 계층형 신경회로망에 의한 여러 가지 패턴학습이 가능하게 되었다.⁽⁵⁾ 그리고 신경망을 이용하여 제어기를 설계할 경우 신경망의 출력이 제어대상의 입력이 되도록 학습되어야 하며, 학습신호로 지정할 제어 입력을 정확히 알 수 없기 때문에 신경망을 이용해서 제어기를 학습시키는 여러 방법들이 연구, 보고 되고 있다.⁽⁶⁾ 본 논문에서는 전치 보상기를 갖는 I-PD 제어계에서 기준 신호와 계 응답간의 오차신호를 보상할 제어기의 설계법을 신경망을 이용하여 제안한다. 사용한 신경망은 혼합 구조형 신경망으로 지연된 오차신호, 제어대상의 입력과 출력의 제환량에 의해서 오차신호가 보상되도록 하였으며 역전파 알고리즘을 이용하여 계 응답 변동시 각 층간의 결합 계수들이 수정되도록 하였다. 제시한 방법을 직류 서보 전동기



(R(k):기준입력, e1(k): 기준입력과 계응답간의 편차, TL:샘플링 시간, Ki:적분이득, Kp:비례이득, Kd:미분이득, Y(k):계응답, h0·h1:전치보상기의 계수)

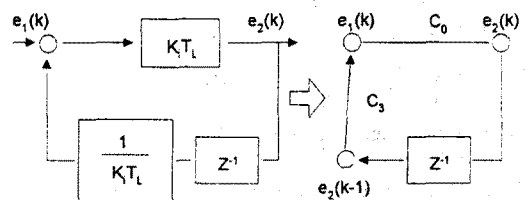
그림 1. 전치 보상기를 갖는 I-PD 제어계의 구성도

그림 1에서 적분기의 전달 함수와 전치보상기의 전달 함수는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

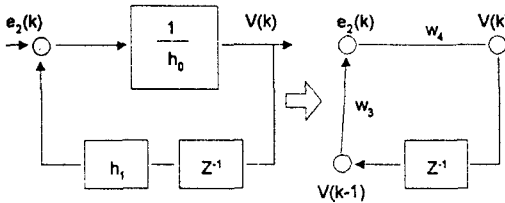
$$\frac{e_2(k)}{e_1(k)} = \frac{K_i T_L}{1-Z^{-1}} = \frac{K_i T_L}{1+K_i T_L \left(-\frac{1}{K_i T_L} Z^{-1}\right)} \tag{1-a}$$

$$\frac{V(k)}{e_2(k)} = \frac{1}{h_0+h_1 Z^{-1}} = \frac{\frac{1}{h_0}}{1+\frac{1}{h_0} h_1 Z^{-1}} \tag{1-b}$$

식 (1)를 신경망으로 구성하면 다음과 같다.



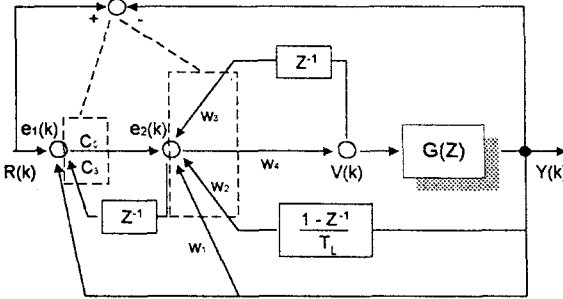
a) 적분기



b) 전치 보상기

그림 2. 신경망을 이용한 적분기와 전치보상기 구성도

그림 2를 이용하여 I-PD 제어기를 신경망으로 재구성하면 그림 3과 나타낼 수 있다.



$$(w_1:K_p, w_2:K_d, w_3:-h_1, w_4:\frac{1}{h_0}, C_0:K_i T_I, C_3:\frac{1}{C_0})$$

그림 3. 신경망을 이용한 I-PD 제어계

2.2 학습 알고리즘 유도

I-PD 제어기의 제어 이득 및 전치 보상기의 계수들이 계의 파라미터 또는 응답등의 변동시 자동적으로 조정하기 위해서 학습 알고리즘이 필요로 하게된다.

그림 3에서 제어 대상 \$G(Z)\$를 선형이라고 가정하면 다음의 관계식이 성립하게 된다.

$$\frac{\partial Y}{\partial V} = k = \text{상수} \quad (2)$$

중간층과 Unit 출력 \$e_2(k)\$과 출력층 Unit 출력 \$V(k)\$는 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$e_2(k) = \sum_{i=1}^3 w_i I_i(k) + C_0 e_1(k) \quad (3-a)$$

$$V(k) = w_4 e_2(k) \quad (3-b)$$

식 (3)에서 \$I_1=Y(k), I_2=\partial Y/\partial t, I_3=V(k-1)\$이다.

위 식에서 \$w_1, w_2, w_3\$ 그리고 \$w_4\$를 수정하기 위해서 다음의 역전과 알고리즘을 도입한다.

$$W_i(k+1) = w_i(k) - \beta_i \frac{\partial E}{\partial W_i} \quad (4-a)$$

$$W_4(k+1) = w_4(k) - \beta_4 \frac{\partial E}{\partial W_4} \quad (4-b)$$

식 (4)에서 \$E\$는 입력 \$R(k)\$와 계응답 \$Y(k)\$의 오차 함수 \$(= \frac{1}{2} (R(k)-Y(k))^2)\$이며, \$\beta_i, \beta_4\$는 학습율이다.

위 식에서 미분항을 계산하기 위하여 미분 연쇄 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial w_i} = \frac{\partial E}{\partial Y} \cdot \frac{\partial e_2}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial V}{\partial e_2} \cdot \frac{\partial Y}{\partial V} \quad (5-a)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_4} = \frac{\partial E}{\partial Y} \cdot \frac{\partial V}{\partial w_4} \cdot \frac{\partial Y}{\partial V} \quad (5-b)$$

식 (5)는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial w_1} = -\{R(k)-Y(k)\} \cdot Y(k) \cdot w_4(k) \cdot C \quad (6-a)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_2} = -\{R(k)-Y(k)\} \cdot \frac{\partial Y(k)}{\partial t} \cdot w_4(k) \cdot C \quad (6-b)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_3} = -\{R(k)-Y(k)\} \cdot V(k-1) \cdot w_4(k) \cdot C \quad (6-c)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_4} = -\{R(k)-Y(k)\} \cdot e_2(k) \cdot C \quad (6-d)$$

여기서 \$C\$는 상수이다. 식 (6)를 식 (4)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$w_1(k+1) = w_1(k) + d_1 \{R(k)-Y(k)\} Y(k) w_4(k) \quad (7-a)$$

$$w_2(k+1) = w_2(k) + d_1 \{R(k)-Y(k)\} \frac{\partial Y(k)}{\partial t} w_4(k) \quad (7-b)$$

$$w_3(k+1) = w_3(k) + d_1 \{R(k)-Y(k)\} V(k-1) w_4(k) \quad (7-c)$$

$$w_4(k+1) = w_4(k) + d_2 \{R(k)-Y(k)\} e_2(k) \quad (7-d)$$

식 (7)에서 \$w_i(k+1)\$ (\$i=1,2,3,4\$)는 \$w_i(k)\$의 수정량이며, \$d_1, d_2\$는 각각 \$\beta_1 k, \beta_4 k\$이다.

그림 2에서 나타내어진 계수 \$C_0, C_3\$의 수정량도 식(7)과 같은 방법으로 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_0(k+1) = C_0(k) + a_2 \{R(k)-Y(k)\} e_1(k) w_4(k) \quad (8-a)$$

$$C_3(k+1) = C_3(k) + a_1 \{R(k)-Y(k)\} C_0(k) e_2(k-1) w_4(k) \quad (8-b)$$

여기서 \$a_1, a_2\$는 각각 \$\eta_1 k, \eta_2 k\$이다.

3. 시뮬레이션 및 고찰

제안된 신경망을 이용한 오차신호 보상법으로 구성된 위치 제어계를 시뮬레이션하기 위해 제어대상을 직류 서보 전동기를 이용하였다. 그림 4는 이산시간 영역에서 직류 서보 전동기의 구성도를 나타낸 것이다.⁽⁷⁾

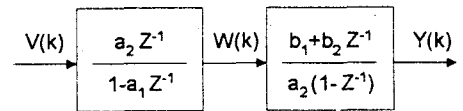


그림 4. 이산시간 영역에서 직류 서보 전동기의 구성도

그림 4에서 \$V(k)\$는 전기자 전압, \$W(k)\$는 각 속도, \$Y(k)\$는 각 위치 그리고 직류 서보 전동기의 계수 \$a_1, a_2, b_1\$ 및 \$b_2\$는 다음과 같다.

$$a_1 = \exp(-\frac{T}{T}), a_2 = K(1-a_1) \quad (9-a)$$

$$b_1 = K\{T_1 - T(1-a_1)\}, b_2 = K\{T(1-a_1) - a_1 T_1\} \quad (9-b)$$

식 9)에서 \$T_1\$는 샘플링 시간이며 \$K, T\$는 직류 서보 전동기의 이득 및 시정수 있다.

그림 3의 제어대상에 그림 4의 직류서어보 전동기를 이용하여 위치 제어계를 구성하면 그림 5과 같다.

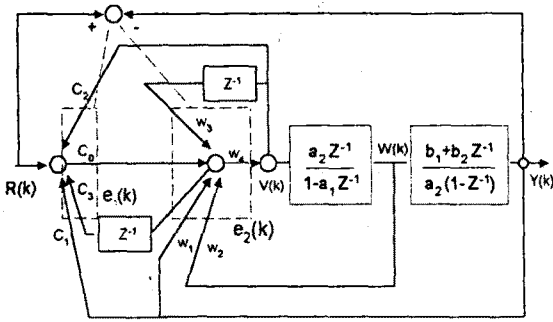


그림 5. 신경망을 이용한 오차 신호 보상을 위한 제어계

그림 5의 제어계에서 $e_1(k), e_2(k)$ 그리고 $V(k)$ 는 다음과 같다.

$$e_1(k) = -Y(k) + R(k) + C_3(k)e_2(k-1) \quad (10-a)$$

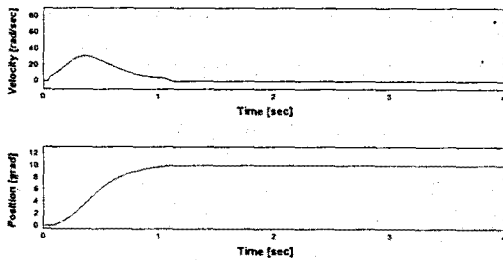
$$e_2(k) = w_1(k)Y(k) + w_2(k)W(k) + w_3(k)V(k-1) + e_1(k)C_0(k) \quad (10-b)$$

$$V(k) = w_4(k)e_2(k) \quad (10-c)$$

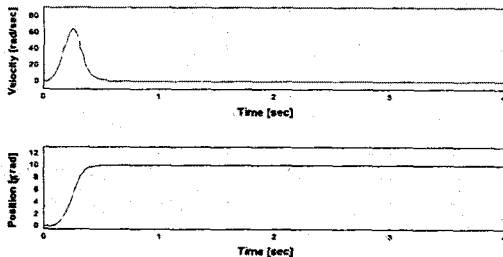
$$C_1(k+1) = C_1(k) + a_1\{R(k) - Y(k)\}Y(k)C_0(k)w_4(k) \quad (10-e)$$

$$C_2(k+1) = C_2(k) + a_2\{R(k) - Y(k)\}V(k)C_0(k)w_4(k) \quad (10-f)$$

식(10)에서 수정식의 계수 a_1 와 초기치 $C_1(0)$ 를 변화시켜 계 응답 특성 곡선의 변화를 시뮬레이션 하였다. 그림 6는 식(8)의 초기치 $C_1(0)$ 를 변화시킨 계 응답이다.



(a) $C_1(0)=0.01$

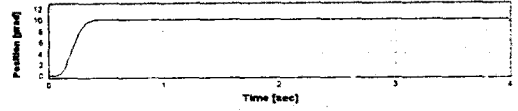
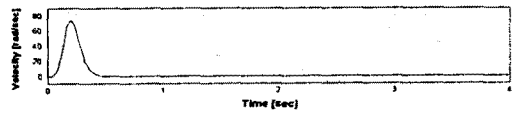


(b) $C_1(0)=0.05$

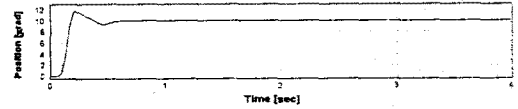
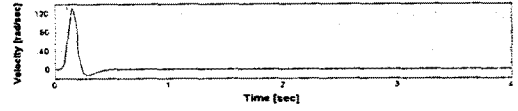
그림 6. 계 응답 궤환 계수의 초기치를 변화시킨 계 응답

그림 6에서 처럼 초기치 $C_1(0)$ 의 값이 클수록 계 응답 특성 곡선의 기울기가 증가하여 목표 위치에 도달하는 시간이 단축되는 것을 알 수 있다.

그림 7는 식 (8)의 a_1 를 변화시킨 계 응답이다.



(a) $a_1=0.4$



(b) $a_1=0.9$

그림 7. 제어대상 입력의 궤환계수에 대한 수정계수의 변화에 따른 계 응답

그림 7에서 $C_1(0)$ 의 값이 커짐에 따라 목표 위치에 도달하는 시간이 크게 단축되나 너무 클 경우 과도응답상태가 증가하고 정정시간이 길어진다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

전치 보상기를 갖는 I-PD 제어계에서 기준신호와 계 응답간의 오차신호를 보상하는 제어기의 설계법을 제안하였다. 사용한 신경망은 혼합 구조형 신경망으로 지연된 오차신호, 제어대상의 입력과 출력의 궤환량에 의해 오차신호가 보상되도록 하였으며, 역전파 알고리즘을 이용하여 계 응답 변동시 각종간의 결합계수들을 수정하기 위한 학습 알고리즘을 유도하였다. 제시한 방법에 의한 시뮬레이션에서 계 응답의 궤환 계수의 초기치 값과 계 응답의 궤환계수의 수정계수등을 적절히 선정함으로써 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] B.A.White, R.T.Lipczynski, A.R.Janiels, "A simple digital control scheme for a DC motor," IEE Proc. Vol. 130, No.2, Mar, 1983, pp. 143-147
- [2] Akira kumamoto and Yohihiro Hirame, "A new method of synchronized driver of a separately excited DC motor," 日本電氣學會 論文集 B, Vol. 103, No. 6, 1983, pp. 433-439
- [3] Kars ushisaendo, Yoshihisa, ishida and Takashi Honda, "Gain Adjustment of I-PD control system," T.IEE. Japan, Vol. 113 C, No. 6, pp. 409-416, 1993
- [4] G.Lightbody, "Direct neural model reference adaptive control," IEE Prcc, Control Theory appl, Vol. 142, No. 2, pp. 661-657, 1995
- [5] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J, "Learning internal representation by error propagation", Parallel Distributed Processing, Vol. 1, MIT Press, pp. 318-362, 1986
- [6] D.P.Salts, A. sideris and A.A Yamamura, "A multilayed neural network controller," IEEE Control system Magazine, No 2, pp. 17-21, 1988
- [7] 하동철, 이창호, 하홍근, 고태연 "I-PD 제어기법으로 구동되는 위치 제어계" 동의 대학교 산업기술 연구지 제 10 권, pp. 255-237, 1996.