

DC 서보모터 구동을 위한 신경망 2자유도 PID제어기 구성

박광현 · 허진영 · 하홍곤

동의대학교 전자공학과 · (주)A.V.M Tech.

Construction Two Degree of Freedom PID controller with Neural network for drives of DC servo motor

Kwang-Hyun Park · Jin-Young Heo · Hong-Gon Ha

Dong-Eui University Dept. of electronics Eng. · A.V.M Tech.Ltd.,co

Email: kwang0070@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 직류 서보 전동기를 구동원으로 하는 위치 제어계에서 부하변동에 따른 파라메타 변화, 외란 등에 강인한 2자유도 PID 제어기의 설계법을 제시하여 신경망으로 2자유도 PID 제어기를 구성 하였다. 이 제어기의 계수들이 기동시나 계 응답의 변동시 신경망 역전파 알고리즘(Back-Propagation Algorithm)에 의해서도 수정 되도록 하였다. 그리고 이것을 실제의 위치 제어계에 적용하여 실험을 통해 그 성능을 검증하였다.

Abstract

In this paper, we consider to apply of 2-DOF (Degree of Freedom) PID controller at D.C servo motor system. Many control system use 1-PD, PID control system but the position control system have difficulty in controlling variable load and changing parameter. We propose neural network 2-DOF PID control system having feature for removal disturbances and tracking function in the target value point. Experiment result for 2-DOF PID controller with neural network are illustrated

I. 서 론

고정밀, 고정도등을 요구하는 위치제어계에 PID 제어기법이 많이 이용되고 있으나 출력이 목표치를 추종하도록 이 PID제어기의 계수들을 설정하면 외란 제어가 난조가 발생하게 되고, 그리고 외란에 강인하도록 계수들을 설정하면 목표치 추종시 문제점이 발생하게 된다. 그래서 목표치 추종에 대한 제어와 외란 제어를 위한 제어로 2자유도 제어기법이 이용되고 있다.[1][2]

본 논문에서는 이 2자유도 제어기를 신경망을 이용하여 PID제어기법으로 제어하도록 하였으며 역전파 알고리즘으로 PID 제어기의 계수들이 조정되게 하였다. 그리고 직류 서보 전동기를 구동원으로 하는 위치제어계에 적용하여 실제 실험을 통해 제어기의 성능을 검토하였다.

II. 신경망 2자유도 PID의 설계

1. 2자유도 PID의 구성

일반적으로 PID 제어기의 전달함수 $G_c(s)$ 는

$$G_c(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd \cdot s \quad (1)$$

이고, 여기서 Kp , Ki 그리고 Kd 는 비례기, 적분기 그리고 미분기의 이득이다.

이 Ki 및 Kd 는 다음과 같이 정의된다.

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}, \quad Kd = Kp \cdot Td \quad (2)$$

식(2)에서 Ti 는 적분기의 적분시간, 그리고 Td 는 미분기의 미분시간이다. 식(1)을 이용하

여 외란 억제 효과가 현저하고 목표치 추종성능이 양호한 2자유도 2차유도(Two Degree of Freedom: 2DOF) PID 제어기의 구성도는 그림 1과 같다.[3][4]

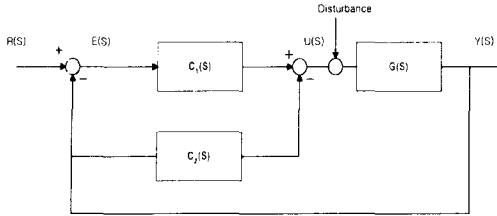


그림 2. 2자유도 PID 제어기
Fig1. 2DOF PID Control System

그림 1의 구성도에서 $R(S)$ 는 기준입력, $U(S)$ 는 제어대상의 입력 $Y(S)$ 는 계의 응답 그리고 $G(S)$ 는 제어대상의 전달함수이다. 제어기 $C_1(S)$ 와 $C_2(S)$ 는 다음과 같다.

$$C_1(S) = (1 - \alpha)Kp + \frac{Ki}{s} + (1 - \beta)Kd \cdot s \quad (3-1)$$

$$C_2(S) = \alpha Kp + \beta Kd \cdot s \quad (3-2)$$

식 (3)에서 α 와 β 는 외란 억제 최적비례이득 및 미분이득이다.

그림 1에서 페루프 전달함수 $M(S)$ 는

$$M(S) = \frac{G(S)C_1(S)}{1 + G(S)\{C_1(S) + C_2(S)\}} \quad (4)$$

이고 제어대상 $G(S)$ 에 대한 감도 S_G 는 다음과 같다.

$$S_G = \frac{1}{1 + G(S)\{C_1(S) + C_2(S)\}} \quad (5)$$

식 (3)에서 $C_1(S) + C_2(S)$ 는 계수 α 와 β 에 무관하다.

그러므로 식(5)의 감도는 α 와 β 에 무관하다.

이것은 Kp, Ki, Kd, α 그리고 β 의 5개 계수는 기준입력에 대한 응답에 관계하고, 외란에 대해서 Kp, Ki 그리고 Kd 의 3개의 계수에 관계하는 것을 알 수 있다.

그림 1에서 제어대상의 입력 $U(S)$ 는

$$U(S) = \{(1 - \alpha)Kp + \frac{Ki}{s} + (1 - \beta)Kds\}e(S) - (\alpha Kp + \beta Kds)Y(S) \quad (6)$$

이고 이산형으로 변환하면 다음과 같다.

$$U(k) = (1 - \alpha)Kpe(k) + Ki \sum_{i=0}^k e(i)Ts + (1 - \beta)Kd \frac{e(k) - e(k-1)}{Ts} - \alpha KpY(k) + \beta Kd \frac{Y(k) - Y(k-1)}{Ts} \quad (7)$$

식(7)에서 Ts 는 샘플링 시간이고 속도형 제어식은 다음과 같다.

$$U(k) = U(k-1) + Ki I_0(k) + Kp I_1(k) + Kd I_2(k) - \alpha I_3(k) - \beta I_4(k) \quad (8)$$

2. 신경망 학습 알고리즘

식(8)을 이용하여 2자유도 PID 제어기를 신경망으로 구성된 구성도가 그림 2이다. 그림 2에서 $I_0(k), I_1(k), I_3(k)$ 그리고 $I_4(k)$ 는

$$I_0(k) = e(k) \quad (9-1)$$

$$I_1(k) = (1 - \alpha)\{e(k) - e(k-1)\} \quad (9-2)$$

$$I_2(k) = (1 - \beta)[\{e(k) - e(k-1)\} - \{e(k-1) - e(k-2)\}] \quad (9-3)$$

$$I_3(k) = Kp\{Y(k) - Y(k-1)\} \quad (9-4)$$

$$I_4(k) = Kd[\{Y(k) - Y(k-1)\} - \{Y(k-1) - Y(k-2)\}] \quad (9-5)$$

이고 Ki 와 Kd 는 다음과 같다.

$$Ki = Kp \frac{Ts}{Ti} \quad Kd = Kp \frac{Td}{Ts} \quad (10)$$

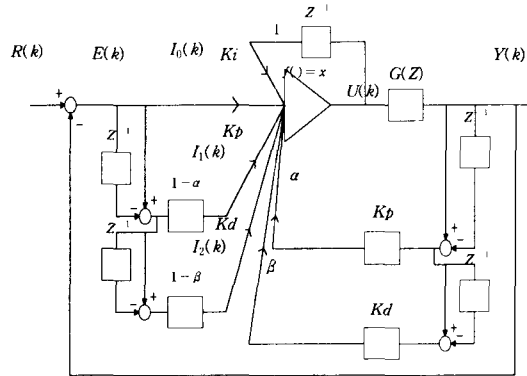


그림 2. 신경망에 의한 2자유도 PID 제어기
Fig 2. 2DOF PID Control System by neural network

그림 2에서 $I_0(k), I_1(k), I_2(k), I_3(k)$ 그리고 $I_4(k)$ 를 신경망 입력층의 출력으로 할 때 Ki, Kp, Kd, α 그리고 β 는 입력층과 출력층을 연결하는 연결강도이고, $U(k)$ 가 출력층의 출력이다. 활성화 함수 $f(\cdot) = x$ 라 할 때 $U(k)$ 는 식(8)을 만족하게 된다.

평가함수

$$J = \frac{1}{2} \{R(k) - Y(k)\}^2 = \frac{1}{2} \{e(k)\}^2 \quad (11)$$

로 정의한다. 역전과 알고리즘과 제어대상을 선형이라고 가정하여 계산한 연결강도의 수정식은 다음과 같다.

$$Ki(k) = Ki(k-1) + \alpha_1 e(k) I_0(k) \quad (12-1)$$

$$Kp(k) = Kp(k-1) + \alpha_1 e(k) I_1(k) \quad (12-2)$$

$$Kd(k) = Kd(k-1) + \alpha_1 e(k) I_2(k) \quad (12-3)$$

$$\alpha(k) = \alpha(k-1) - \alpha_2 e(k) I_3(k) \quad (12-4)$$

$$\beta(k) = \beta(k-1) - \alpha_2 e(k) I_4(k) \quad (12-5)$$

식(12)에서 $Ki(k)$ $Kd(k)$ $Kp(k)$ $\alpha(k)$ 그리고 $\beta(k)$ 는 $Ki(k-1)$ $Kd(k-1)$ $Kp(k-1)$ $\alpha(k-1)$ 그리고 $\beta(k-1)$ 에 대한 수정식이고 α_1 과 α_2 는 상수이다.

3. Relay 궤환에 의한 초기동조

신경회로망을 이용하여 구성된 PID 제어기에서 단점은 초기 제어이득과 연결강도 그리고 학습률 등에 따라 제어성능이 크게 좌우되기 때문에 초기 제어 영역에서 안정한 제어를 할 수 없다는 점과 수렴속도가 늦다는 것이다.[5] 그래서 PID제어기의 이득을 결정하는 데 가장 많이 이용되고 있는 방법이 Ziegler-Nichols 방법(Z-N 방법)이다. 이 Z-N방법에서 단위계단입력에서 평균 25%의 최대 과도응답을 얻을 수 있는 Z-N 동조규칙은 다음과 같다. [6]

$$Kp = 0.6Kc, \quad Ti = 0.5tc, \quad Td = 0.125tc \quad (13)$$

이다.

여기서 Kc 는 릴레이 진폭과 출력이 정현파라 가정할 때 정현파의 진폭에 의해서 결정되는 상수이고 tc 는 정현파의 진동주기이다. 그러므로 식 (10)에서 $Kp(k)$ $Ki(k)$ 그리고 $Kd(k)$ 의 초기치는 다음과 같다.

$$Kp(0) = 0.6Kc \quad Ki(0) = Kp(0) \frac{T_s}{T_i},$$

$$Kd(0) = Kp(0) \frac{T_d}{T_s} \quad (14)$$

III. 실험결과 및 고찰

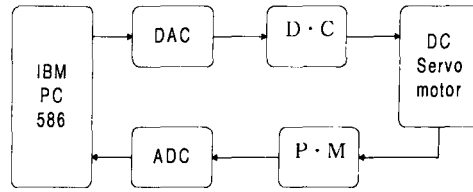


그림 3. 실험 장치의 구성

Fig 3. Configuration of the Experimental setup

서보직류모터를 구동원으로 하는 위치제어계에서 위치를 제어하기 위한 실험 구성도가 그림 3과 같다. 직류 서보모터의 각위치를 전위차계(P·M: Potential Meter)에서 검출하여 ADC에서 디지털량으로 변환되어 PC에 인가되도록 하였고 실험에 사용한 서보 모터의 제정수는 표1과 같다.

표 1. 직류 서어보 전동기의 제정수

Table 1. Parameters of DC servo motor

기 호	실 명	값	단 위
Rm	진기자 저항	2.6	Ω
Lm	진기자 인덕턴스	0.18	mH
Jm	진기자 회전관성	3.87×10^{-7}	$kg \cdot m^2$
Km	역기전력 상수	0.00767	$N \cdot m / A$
Kt	토크 상수	0.00767	$N \cdot m / A$
Kg	기어비	14 : 1	

샘플링 시간 T_s 는 0.01[msec]로 하였다. 여기서 기준입력 $R(k)$ 에 각위치 30[degree]로 하였고, 오차 $e(k)$ 가 0이 아니면 $Ki(k)$, $Kp(k)$, $Kd(k)$, $\alpha_i(k)$ 그리고 $\beta_i(k)$ 가 식(12)에서 $e(k) = 0$ 이 될 때까지 수정되도록 하였다.

먼저 2자유도 PID 제어기는 식(8)과(9)에 의해서 계산되고 신경망의 연결강도는 식(12)에 의해서 수정된다. 식(13)의 $Kc=2.17$, $tc=0.606$ 그리고 2자유도의 계수는 $\alpha=0.192$, $\beta=0.976$ 이다. 먼저 $\alpha=0.014$ 로 고정하고 $\beta=0.976$ 과 $\beta=0.32$ 로 변화시킨 계 응답은 그림 5과 6이다. β 을 크게 할 때 그림5에서는 상당한 과도응답상태를 보이고 있으며 β 을 작게 한 그림6에서는 과도응답은 감소하였지만 지연시간이 길어진다.

$\alpha=0.192$, $\beta=0.976$ 으로 한 경우 그림 7에서 보여진다. 그림 5에 비해서 과도응답상태가 감소하고 지연시간이 단축되어 양호한 최적 계 응답을 얻을 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 2자유도 PID제어기를 신경망으로 구성하였다. PID제어계수들의 초기치는 Ziegler-Nichols 방법으로 설정이 되도록 하였다. 이 제어기법을 직류 서보 전동기를 구동원으로 하는 위치 제어계에 적용하여 실제 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다. 최적비례계수가 작을수록 과도응답상태가 증가하고 클수록 과도응답상태가 감소되지만 지연시간이 길어진다.

최적미분계수가 작을수록 과도응답은 적어지고 지연시간은 길어진다는 것을 알 수 있다.

그러므로 최적비례 및 미분계수를 적절히 설정함으로써 목표치 추종과 외란 억제기능으로 강인한 제어성능을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H. Butler, Ger Homderd, and Job von Amerongen, "Model Reference Adaptive of a Direct-Drive DC Motor", IEEE Control System Magazine Jan. 1989, Vol. 27, No 8, pp. 899~906, 1991.
- [2] 이정민, 허진영, 하홍근, 고태언, "신경망 2자유도 PID제어기에 의한 위치제어시스템의 구성", 한국해양정보통신학회 2000년도 춘계종합학술대회, vol.4, No.1. pp.378~385
- [3] Shu Yamamoto Ara, Masaki Sugiura Jun Sawaki, Kouki Matsuse "A Design Method of Two-Degree-of-Freedom PID position controller for Linear Servo Motor Drives"
- [4] 이권순, 이영진, 손주환, 이만형 "2자유도 PID제어기를 이용한 AGV의 조향제어에 관한 연구" 전기학회논문지. 490권. 5호, pp.241~248, 2000
- [5] 이창구 "신경회로망 보상기를 갖는 비선형 PID제어기" 전기학회논문지. 490권 5호 pp.225~234. 2000
- [6] C.C.Hang, K.J. Åstrom, W.K.Ho "Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula" IEE pro, D vol. 138, No.2 March, 1991

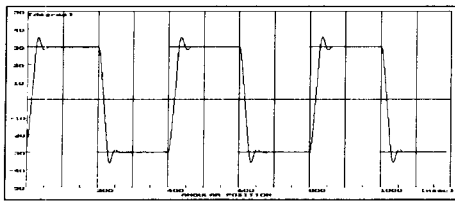


그림 5. α 고정, β 를 변화시킨 계 응답. ($\beta = 0.976$)
Fig 5. Responses of PID control system

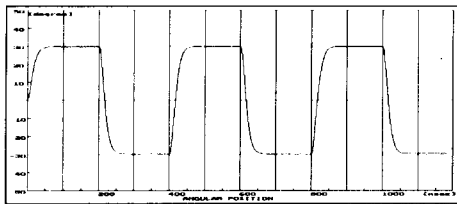


그림 6. β 를 변화시킨 계 응답($\beta = 0.32$)
Fig 6. Response of system varying β

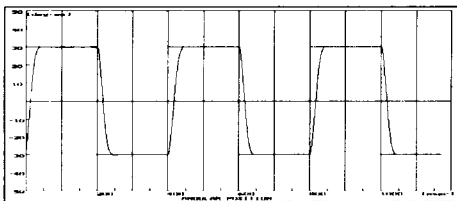


그림 7. α, β 를 변화시킨 계 응답($\alpha = 0.192, \beta = 0.976$)
Fig 7. Response of system varying α and β

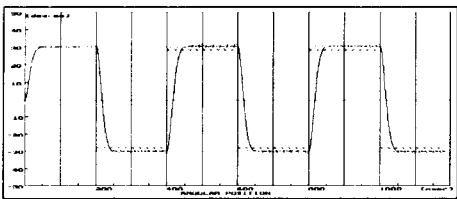


그림 8. 정현파의 외란이 있는 경우의 응답
Fig 8. The response of the 2-DOF PID control system with a sinusoidal disturbance

그림 8은 30[rad] 입력에 $2 * \sin(0.2 \pi t)$ [rad]의 외란을 부가하여 응답을 보였다. 제안된 제어기의 경우 외란에 의한 궤적의 일거리짐이 거의 없이 외란에 대한 강인한 특성을 보여 주었다.