

전향 관리제어기에 의한 PID제어 시스템의 강인제어

° 박민규, 김용욱, 전정재, 오훈, 박월서
원광대학교 전기공학과

Robust control of PID control system using feedforward supervisory controller

' Min-Gyu Park, Young-Wook Kim, Jeong-Chay Jeon, Hun Oh, Wal-Seo Park
Dept. of Electrical Eng., Wonkwang Univ.

Abstract - Robust control is needed according to the highest precision of industrial automation. However, when a control system with PID controller has an effect of load disturbance, it is difficult to guarantee the robustness of control system. as a method solving this problem, in this paper, Feedforward supervisory control method for PID control system is presented. the effectiveness of the control scheme is verified by simulation results.

1. 서 론

산업 자동화의 고정밀도에 따라 제어시스템은 강인하고 정밀한 제어가 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응하여 정교한 현대 제어 이론들이 개발되었음에도 불구하고, 산업현장에는 PID 제어기가 널리 쓰이고 있다. 이는 구조가 간단하고 과도 응답특성이 좋으며 정상상태 오차를 제거할 수 있기 때문이다. [1,2]

하지만 PID 제어기를 사용한 궤환 제어 시스템에서 부하 외란이 인가되면 출력은 허용오차를 이탈하게 된다. 그러므로, 부하외란이 인가되더라도 정밀한 제어가 요구될 때에는 이탈정도를 최소화 시킬수 있는 제어기법의 적용이 필요하다.[3].

이와같은 제어기법으로 Smith('85)는 전 지상필터형 태의 전향제어기를 제의하였다.[4] 또한 Johnson('86)은 적분 궤환제어기, Kucera('85)는 적응 LQG 피드백-피드포워드 제어기를 제의하였다.[5,6]

근래에 부하 외란 효과의 최소화를 위해 전문가 및 퍼지 제어기법 등이 도입되었다.

본 논문에서 제안한 전향 관리제어기법은 가변 부하시 PID제어기의 출력을 신경망 관리제어기를 통해 PID시스템의 입력을 재설정 해줌으로써 PID시스템의 강인함을 보장할 수 있게 한다. 제안된 제어기법의 부하변화에 대한 강인함은 시뮬레이션에 의하여 증명하였다.

2. 본 론

2.1 신경망 제어기

신경망의 기본적인 역할은 입·출력 관계의 사상(mapping)을 구현하는 것이다.[7,8] 그러므로 입·출력 관계가 함수이든, 논리이든 또는 이들로 표현되지 않는 미지의 관계이든 간에 어느 한 분야에 국한되지 않고 일반적인 분야에 적용이 가능하다.

다중 신경망을 이용하여 제어입력 (U_s)의 크기를 예측하는 방법을 수식으로 표현하면, 다음과 같다.

$$U_s = \Gamma[Wx] \quad (1)$$

여기서 입력 (x) 그리고 출력 U_s 이다.

가중치행렬(W)는 다음과 같다.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1J} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{K1} & w_{K2} & \cdots & w_{KJ} \end{bmatrix} \quad (2)$$

비선형 대각 연산자는 다음과 같다.

$$\Gamma[0] = \begin{bmatrix} f(0) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & f(0) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & f(0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

또한, 우리가 원하는 신경망의 출력벡터, 즉 교사 신호는 다음과 같다.

$$d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_K \end{bmatrix} \quad (4)$$

이상과 같은 방식으로 신경망의 출력(U_s) 교사신호(d)가 결정되면 오차함수는 식(5)와 같이 정의된다.

$$E = \frac{1}{2} (d - U_s)^2 \quad (5)$$

이때 오차함수를 최소화하도록 뉴런사이에 서로 연결되어 있는 가중치들의 조정이 필요하다. 이는 급강하법을 사용하면 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta W = -\eta \nabla E \quad (6)$$

여기서 η 는 양의 상수로서 학습상수를 나타낸다.
식을 미분하여 (6)식에 대입하면 다음과 같다.

$$\Delta W = \eta(d - U_s)\Gamma[wx]x \quad (7)$$

학습에 의한 무게치의 갱신은 다음 식과 같이 이루어진다.

$$W(K+1) = W(K) + \Delta W(K) \quad (8)$$

이와 같이 급강하법에서 자승오차를 최소화하는 방법은 델타법이라 불리워지고 있다. 이를 중간층이 있는 3층 이상의 네트워크를 확장한 학습법이 백프로파게이션(Back-Propagation)법 또는 일반화된 델타법이라 한다. 일정부하 외란 인가 시에 오차에 의한 최초 교사신호(d)는 최대오차 근처의 값을 사용한다. 그리고 d값이 결정은 오차특성곡선의 고찰과 경험적 지식에 의하여 오차가 최소가 되는 값으로 결정한다.

2.2 전향 신경망 관리제어기

신경망은 모델의 불확실함(uncertainty)에 의해 발생하는 오차 e 와 원하는 출력 O 를 사상(mapping)시킴으로서, 매 순간마다 발생하는 오차에 따른 PID제어기의 입력을 변화시키기 위한 관리제어기로서 작용하도록 하였다.

전향 신경망 관리제어기는 이러한 신경망의 적용성을 고려하여 PID제어시스템에 적용함으로서 외란 인가 시에 발생하는 오차를 줄여 시스템의 강인성을 주는데 목적이 있다.

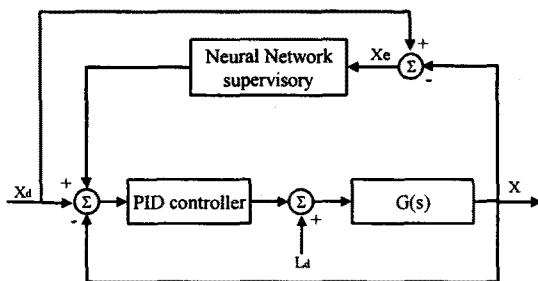


그림 1. 전향 신경망 관리제어기를 갖는 시스템의 구성도

그림 1은 전향신경망 관리제어기의 구조로 PID제어 시스템의 오차를 전향 신경망을 통하여 PID제어시스템의 입력에 가함으로써 입력단에서 시스템의 안정성을 조정하고자 한다.

그림 1에서 전동기와 PID제어기($K_p + K_I/S + K_D$)는 케이블 제어 루프를 형성한다.

제어기의 매개변수가 시스템에 맞게 동조되더라도 전동기에 부하외란이 인가되면 출력은 변화하게 되어 오차가 발생된다. 오차의 특성곡선은 시스템 특성과 부하외란 크기에 의존된다.

그러므로 부하외란의 존재시에 PID제어기를 사용한 케이블 제어 시스템이 갖는 문제점을 보완하기 위하여 전향 신경망 관리제어기를 제안하였다.

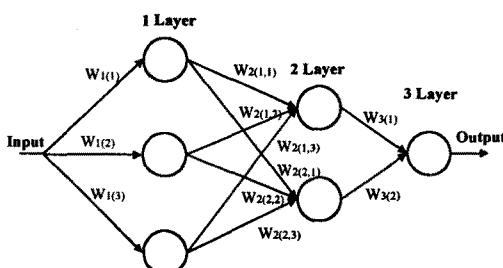


그림 2 3층 전향신경회로망의 구조

신경망의 구조는 그림 2에서 보이는 바와 같이 3층의 전향 신경망(feedforward neural network)를 사용하였다.

신경망의 학습알고리즘은 다층 구조를 갖는 신경망의 가중치를 PID제어 시스템에서 입력과 출력관계로부터 얻어진 데이터에 맞추어 그 값을 조정해 나가는 방법으로 현재 가장 널리 사용되고 있는 역전파 알고리즘을 이용하였으며, 학습상수는 수렴 속도와 오차의 진동을 고려하여 0.001로 사용하였다. 또한 학습횟수는 1000회 까지 하였으며, 응답함수는 시그모이드(sigmoid)함수를

사용하였다.

3. 시뮬레이션 및 결과고찰

앞에서 설계한 전향 신경망 관리제어기의 성능을 확인하기 위해 다음과 같이 기술되는 전기자제어용 직류 전동기의 모델에 적용시킨다.

$$JL_a \ddot{x} + (R_a J + L_a B)\dot{x} + (R_a B + K_b K_t) = K_t \cdot u \quad (9)$$

여기서 x 는 시스템의 출력을 나타내고 u 는 제어입력이다.

본 논문에서 사용된 직류전동기(정격출력 400(W))의 매개변수는 다음과 같다.

$$K_t = 2.27 [kgf \cdot cm/A] : 토오크상수$$

$$J = 3.4 \times 10^{-1} [kgf \cdot cm \cdot sec^2] : 관성모멘트$$

$$L_a = 0.89 [mH] : 전기자 인덕턴스$$

$$R_a = 1.2 [\Omega] : 전기자 저항$$

$$B = 0.75 [kg \cdot cm] : 마찰 토오크$$

$$K_b = 23.33 [V/krpm] : 유기 전압상수$$

위 같은 직류 서보 전동기의 제어를 위한 PID제어기의 매개변수는 Ziegler-Nichols의 계단 응답법에 의하여 다음과 같이 결정하였다.

$$K_p = 0.0084, K_I = 6.82, K_D = 0.000034$$

그림 3은 전동기에 각각 (a) 800(rpm), (b) 500(rpm), (c) 300(rpm)의 외란을 인가하여 PID제어기와 전향 신경망 관리제어기의 응답곡선을 나타낸 것이다.

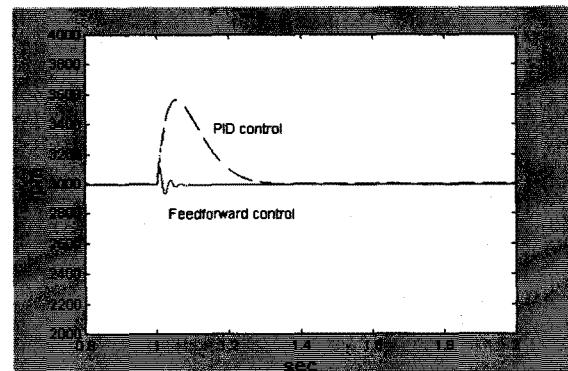
(a)를 살펴보면 PID의 경우 최대오차가 906(rpm) 전향신경망의 경우 112(rpm)이하로 발생한다. 따라서 오차는 12.4(%)로 감소하였다.

(b)의 경우 PID는 566(rpm), 전향신경망 67(rpm)으로 11.8(%)로 감소하며.

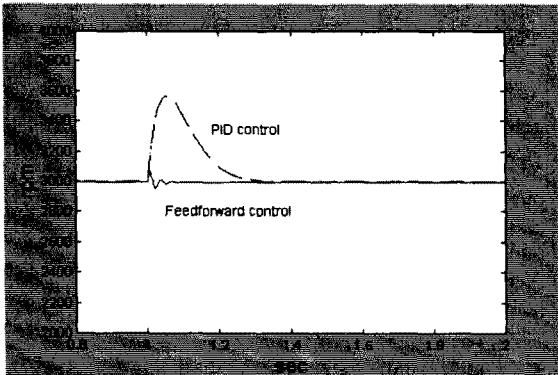
(c)의 경우 PID는 340(rpm) 전향신경망의 경우 44(rpm)으로 12.9(%)로 감소함을 나타내었다.

결과적으로 그림에서 알 수 있는 바와같이 PID만을 사용했을 때 보다 전향신경망 관리제어기를 사용함으로써 부하외란의 영향을 현저히 감소시킬수 있었다.

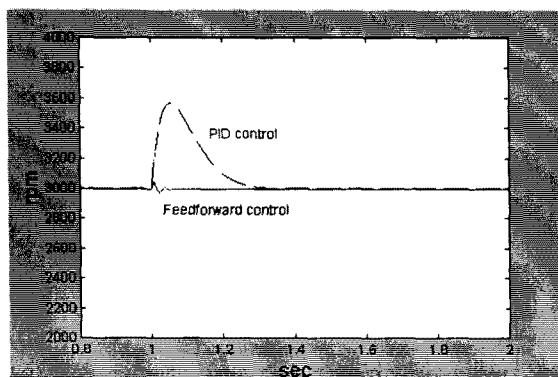
따라서, 부하외란이 어떠한 형태로 존재하든 설계자가 원하는 제어의 목적을 달성할 수 있으리라 사료된다.



(a) 부하 외란이 800[rpm]일 때 PID제어기와 전향 신경망 관리제어기의 응답곡선



(b) 부하외란이 500[rpm]일 때 PID제어기와 전향
신경망 관리제어기의 응답곡선



(c) 부하 외란이 300[rpm]일 때 PID제어기와 전향
신경망 관리제어기의 응답곡선

그림 3. 부하의 외란에 따른 PID제어기와 전향
신경망 제어기의 응답곡선

4. 결 론

산업현장에서 PID제어는 많은 자동화 설비에 사용되고 있는데, 부하 외란 인가 시에 안전한 강인제어는 어렵게 된다.

본 논문에서는 PID제어시스템의 강인한 제어를 위하여 전향 신경망 관리제어기법을 제안하였다. 이 제어기의 장점은 외란 존재 시에도 제어대상이 강인한 제어의 성능을 나타남에 있다. 단점으로는 신경망의 학습에 관하여 일반화된 정보가 사전에 필요하며 온라인 상에서의 학습이 되지 못하는데 있다.

제안된 제어 시스템은 그림에서 보여지듯이 부하 외란이 어떠한 형태로 인가되던지 설계자가 원하는 강인한 운전이 가능하여 강인한 제어가 요구되는 제어시스템에 사용될 수 있으리라 사료된다.

〔참 고 문헌〕

- [1] K.J.Aström and T.Hägglund, Automatic Tuning of PID controller, Instrument society of America, 1988.
- [2] L.R. Medsker, Hybrid neural network and expert system, Kluwer academic publishers, 1994.
- [3] J.K.Slotine and W.Li, Applied Nonlinear control, Prentice-Hall, 1991.
- [4] C.A Smith and A.B. Corripio, principles and practice of automatic process control, Wiley-Interscience, 1995.
- [5] C.D.Johnson, "Disturbance-accomodating control: an overview," proc. ACC, pp.526-536, 1996.
- [6] V.Kucera and M. Sebek: A note on station LQG control," IEEE Trans.Automat. coontr. Vol. AC-30, pp.1242-1245, 1985
- [7] K.S.Narendra, K.Parthasarathy, "Identification and control of dynamic system using neural networks," IEEE Trans. on Neural Network, vol.1 No.1, PP.4~27, March 1990.
- [8] F.C.Chen, "Back-propagation neural networks for nonlinear self-tuning adaptive control," IEEE control systems Magazine, PP. 44~48, April 1990.