

신경회로망-PID복합형제어기를 이용한 직류 전동기의 강인한 속도제어

(Robust speed control of DC Motor using Neural network-PID hybrid controller)

유인호* · 오 훈 · 조현섭 · 이성수 · 김용욱 · 박왈서

(In - Ho Ryu · Hun Oh · Hyeon - Seob Cho · Sung - Su Lee · Yong - Wook Kim · Wal - Seo Park)

요 약

산업자동화의 고정밀도에 따라 궤환 제어시스템은 강인한 제어가 요구되고 있다. 하지만 신경망 궤환 제어시스템이 외란의 영향을 받았을 때, 시스템의 강인한 제어는 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 신경회로망제어기와 PID제어기의 복합형 제어방법을 제시하였다. 신경회로망 제어기는 주 제어기로서 동작하고, PID제어기는 허용오차가 경계영역을 벗어날 때 동작하는 보조제어기로 사용된다.

신경회로망-PID복합형제어기의 강인성은 전동기의 속도제어에 의해서 확인하였다.

Abstract

Robust control for feedback control system is needed according to the highest precision of industrial automation. However, when a neural network feedback control system has an effect of disturbance, it is very difficult to guarantee the robustness of control system. As a compensation method solving this problem, in this paper, hybrid control method of neural network controller and PID controller is presented. A neural network controller is operated as a main controller, a PID controller is a assistant controller which operates only when some undesirable phenomena occur, e.g., when the error hit the boundary of constraint set.

The robust control function of neural network-PID hybrid controller is demonstrated by speed control of Motor.

Key Words : Neural network-PID hybrid controller

1. 서 론

산업자동화의 고정밀도에 따라서 궤환 제어시스템은 강인하고 정밀한 제어가 요구된다. 궤환 제어시스템의 특성개선을 위한 방법으로는 주 제어기에

의한 궤환 제어시스템의 특성개선에 대한 연구와 보조제어기에 의한 부가적 특성개선에 관한 연구가 되어지고 있다. 근래에 새로운 제어이론들이 많이 개발되었음에도 불구하고, 궤환 제어기로 PID제어기가 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는데, 이는 구조가 간단하고 과도응답특성이 좋으며 정상상태 오차를 제거할 수 있기 때문이다[1][2].

그러나 PID제어 상수값을 결정하는데 전문가의 상당한 시간과 노력이 소요되고, 또한 시스템 파라미터가 변동하게 되면 제어 성능이 매우 민감하게

* 주저자 : 익산대학 전기과 부교수
Tel : 063-840-6624 Fax: 063-840-6624
E-mail : ryuin@iksan.ac.kr
접수일자 : 2003년 10월 6일
1차 심사 : 2003년 10월 10일
심사완료 : 2003년 11월 21일

영향을 받는다[3].

이와 같은 PID제어기의 문제점을 해결하기 위한 한 방법으로 제어 상수값 결정을 위해서 신경회로망이 응용되고 있다[4][5]. 또한 PID제어기를 대신하는 케환 제어기로서 신경회로망 제어기를 사용하는 연구가 진행되고 있다[6][7].

신경회로망 제어기는 학습 알고리즘에 의하여 제어기가 구성됨으로서, PID제어기의 제어 상수값을 결정하는데 필요한 시간과 노력이 절감되는 장점을 갖추고 있다. 특히 시스템 파라미터가 수시로 변동하는 경우에도 전문가의 관여 없이 자동으로 제어기가 설계된다. 이와 같은 장점을 갖추고 있음에도 불구하고 신경회로망 제어 시스템이 외란의 영향을 받게 되면 출력은 설정값에서 이탈하여 강인제어는 어렵게 된다.

본 논문에서는 신경회로망 케환 제어 시스템의 강인성 증진을 위하여 보조 제어기로 PID제어기를 사용하는 신경회로망-PID복합형 제어기를 제안하였다.

신경회로망 제어기는 케환 제어시스템의 주 제어기로 동작하고, PID 제어기는 발생 오차가 허용오차의 경계 영역을 벗어날 때 동작하는 보조제어기로 사용된다. 제의된 제어기법은 직류전동기를 사용한 속도 시뮬레이션에 의하여 확인하였다.

2. 시스템의 구성

그림 1에서 전동기와 신경회로망제어기는 케환 제어루프를 형성하게 되며, 신경회로망제어기는 부하의 변화에 따라 학습하게 된다. 그러나 외란이 인가되면 출력이 변화하게 되고, 오차특성곡선은 시스템 특성과 외란 크기에 의존된다. 그러므로 외란 존재시에 신경회로망 제어기를 사용한 케환 제어 시스템만으로는 오차를 허용오차 이내로 유지하기 어려워져서 정밀제어가 어렵게 된다. 이러한 케환 제어 시스템이 갖는 문제점을 보완하기 위하여 PID제어기를 보조제어기로 사용하는 신경회로망-PID복합형 제어기법을 제안하였다. PID제어기의 매개변수는 Z-N동조 방법을 이용하여 비례상수 $K_P=0.065$, 적분상수 $K_I=0.0163$, 미분상수 $K_D=0.065$ 로 결정하여 사용하였다.

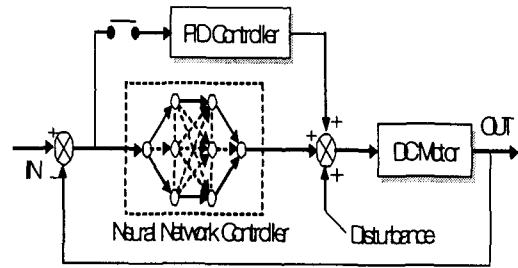


그림 1. 외란을 갖는 신경망-PID 복합형 제어 시스템의 블록선도

Fig. 1. Block diagram of Neural network-PID hybrid control system with disturbance

PID제어기는 오차 발생시에만 동작하게 됨으로서 신경회로망 제어기의 단점을 보완할 수 있게 된다. 외란이 인가 될 때는 설정값에 대한 이탈정도가 작기 때문에 PID 제어기의 파라미터 특성이 크게 나타나지 않는다. 따라서 보조제어기로 사용되는 PID 제어기 파라미터는 시스템 특성이 크게 변화하지 않는 한 바꾸어 주지 않아도 된다. 따라서 PID 제어기 사용자 측에서 보면 편리성이 매우 증진됨을 알 수 있다.

직류전동기의 전달함수식은 식 (1)과 같다.

$$G(s) = K_t / [JL_a s^2 + (J R_a B L_a) s + (K_t K_b + B R_a)] \quad (1)$$

본 논문에서 사용된 직류 서보전동기의 파라미터는 다음과 같다.

$K_t=2.26 [Kgf \cdot cm/A]$: 토크 상수

$J=3.4 \times 10^{-10} [Kgf \cdot cm \cdot sec^2]$: 관성 모멘트

$L_a=0.89 [mH]$: 전기자 인덕턴스

$R_a=1.2 [\Omega]$: 전기자 저항

$B=0.75 [Kgf \cdot cm]$: 마찰 토크

$K_b=23.33 [V/Krpm]$ 유기전압 상수

이상의 값을 식 (1)에 대입하면 식 (2)과 같다.

$$G(s) = \frac{222.46}{3 \times 10^{-10} s^2 + 4.145s + 137.63} \quad (2)$$

3. 신경회로망-PID복합형제어기

신경회로망에는 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 다양한 기능이 있지만 신경회로망을 이용한 제어 분야에서는 주로 인식과 최적화 기능을 사용하여 오차가 최소가 되도록 학습하여주는 에뮬레이터(Emulator)와 에스티메이터(Estimator)로 사용되고 있다.

일반적으로 오차 최소화를 목적으로 하는 데에는 델타(Delta)학습이 주로 사용되고 있다.

PID제어기는 구조가 간단하고, 과도응답특성이 좋으며 정상상태 오차를 제거할 수 있기 때문에 산업현장에서 널리 사용되고 있다.

신경회로망-PID복합형 제어기 시스템의 출력 유닛을 블록선도로 나타내면 그림 2와 같다.

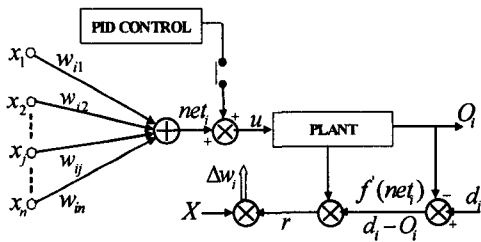


그림 2. 신경회로망-PID 복합형 제어 시스템의 출력유닛 블록선도
Fig. 2. Output unit block diagram of Neural network- PID hybrid control system

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다.

$$r = [d_i - f(W_i; X)]f'(W_i; X) \quad (3)$$

델타 학습규칙은 기준값(d_i)과 출력값(O_i)차의 제곱오차를 최소화 시키는 조건으로부터 얻어질 수 있고, 오차제곱벡터(E)는 다음과 같이 정의 된다.

$$E = \frac{1}{2} (d_i - O_i)^2 = \frac{1}{2} [d_i - f(W_i; X)]^2 \quad (4)$$

무게값(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

$$\nabla E = \frac{\partial E}{\partial W_i} = -(d_i - O_i)f'(W_i; X) \quad (5)$$

오차를 최소화시키기 위해서 무게치는 음의 기울기 방향으로 변화되어야 하므로 다음과 같은 관계가 성립해야만 한다.

$$\Delta W_i = -C \Delta E = C(d_i - O_i)f'(W_i; X) \quad (6)$$

C 는 양의 상수이고, 무게 값은 다음과 같이 조절 된다.

$$W_i^{k+1} = w_i^k + \Delta W_i^k \quad (7)$$

따라서 신경회로망-PID복합형제어기에 의해 발생하는 제어 입력(u)는 다음과 같다.

$$u = net_i + PID$$

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

제안된 제어 시스템의 유용성을 살펴보기 위하여 제어대상플랜트로서 직류전동기를 사용하였다.

그리고 직류 전동기의 외란에 대한 영향을 고찰하기 위하여 300[rpm]과 500[rpm]의 속도 감소를 갖는 계단형 외란을 300[ms]동안 인가하였다.

그림 3은 신경회로망 및 신경회로망-PID복합형 제어기에 의한 오차 응답곡선이다. 곡선 1은 복합제어기, 곡선 2는 신경회로망의 응답곡선이다.

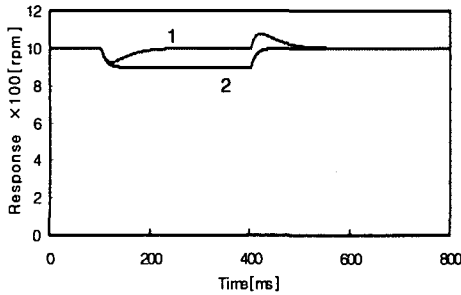
그림 3(a)에서 외란이 300[rpm], 300[ms]으로 지속될 때, 복합제어기의 이탈 최대값이 80[rpm]으로 줄어들었고 이탈 진행시간이 100[ms]로 감소한 반면, 신경회로망제어기에서는 이탈 최대값이 100[rpm]으로 줄어들었지만 이탈 진행시간은 300[ms]동안 지속되었다.

그림 3(b)에서 외란이 500[rpm], 300[ms]으로 지속될 때 복합제어기에서는 이탈 최대값이 130[rpm]으로 줄어들었고 이탈 진행시간이 130[ms]로 감소한 반면, 신경회로망제어기에서는 이탈 최대값이 190[rpm]으로 줄어들었지만 이탈 진행시간은 300[ms]동안 지속되었다.

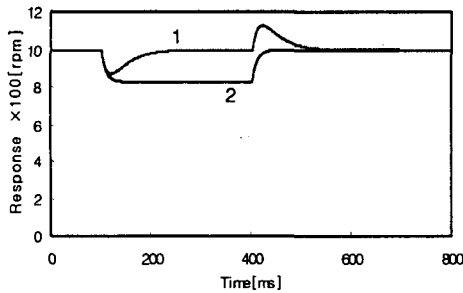
결과적으로 그림 3에서 보는 것처럼 신경회로망 제어기만을 사용했을 때 보다 신경회로망-PID복합형제어기를 사용함으로써 외란의 영향을 현저히 감

소시킬 수 있었다.

따라서 신경회로망의 자동학습에 의한 주 제어기의 구성과 시스템 특성변화의 넓은 영역을 담당할 수 있는 보조 PID제어기에 의해서 서보제어 목적을 보다 쉽게 달성할 수 있으리라 사료된다.



(a) 300[rpm]에 대한 오차 응답곡선



(b) 500[rpm]에 대한 오차 응답곡선

그림 3. 신경회로망 및 신경회로망-PID복합형제어기에 의한 오차 응답곡선

Fig. 3. Neural network and Neural network-PID Hybrid controller

5. 결론

산업현장에서 전동기제어는 많은 자동화설비에 사용되고 있는데, 외란 인가시 강인제어는 어렵게 된다. 본 논문에서는 신경회로망 케환 제어시스템의 외란에 대한 단점을 보완하기위해서 신경회로망-PID 복합형 제어기를 제안하였다. 부 제어기인 PID제어기는 정상운전 중 오차 발생시에만 동작하게 되어있다. 제안된 제어방법의 유용성을 살펴보기

위하여 300[rpm] 및 500[rpm]의 계단형 외란을 300[ms]동안 인가하였다. 그림 3에서 보여주듯이 복합형제어기를 사용함으로써 외란의 영향을 현저히 감소시킬 수 있다.

제외된 복합제어기의 장점은 주제어기인 신경망 제어기가 자동으로 설계되고 부 제어기인 PID 제어기의 파라미터는 시스템 변화의 넓은 영역을 담당하게 된다.

따라서 제안된 제어기법은 외란이 문제가 되는 신경회로망 제어시스템의 정밀제어에 사용될 수 있으리라 사료된다.

이 논문은 2003년도 익산대학 산업기술연구소의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- (1) K. J. Åström, Automatic tuning of PID controller, Sumit Technical Associates Inc. 1988.
- (2) Z. Y. Zhao, M. Tomizuka and S. Tsaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers" IEEE Trans. syst. Vol. 23, No. 5, pp. 1393~1397, September/October, 1993.
- (3) K. J. Åström, B.Wittenmark, Adaptive control, Addison-Wesley publishing company, 1995.
- (4) N. Hovakimyan, F. Nardi, A. Calise, "Adaptive Output feedback control of Uncertain". IEEE Traans. Neural Network, Vol. 13, No. 6, pp. 1420~1431. November 2002.
- (5) J. Q. Hang, F.L. Lewis, "Neural-Network Predictive Control for Nonlinear dynamic systems with Time-Delay", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 14, No. 2, pp. 377~389, March 2003.
- (6) K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, and P. J. Gawthrop, "Neural Networks for control system-A survey", Automatic, Vol. 28, No. 6, pp. 1083~1112, 1992.
- (7) D. E. Rumelhart, J. L. Mc Clelland, and The FDP Reserch Group, Parallel Distributed processing . Vol. 1-2 MIT press, 1986.

◇ 저자소개 ◇

유인호 (柳仁浩)

1960년 10월 21일생. 1984년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년~현재 익산대학 전기과 부교수.

오 훈 (吳 勳)

1967년 9월 8일생. 1991년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1993년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 청운대학교 전자공학과 겸임교수.

조현섭 (趙賢燮)

1965년 3월 15일생. 1990년 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1992년 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업(석사). 1996년 원광대학교 공과대학 전기공학과(박사). 1998. 10~현재 중소기업청 기술경쟁력 평가위원. 1997. 3~현재 청운대학교 전자공학과 조교수.

이성수 (李成洙)

1973년 5월 10일생. 2002년 원광대학교 공과대학 전기전자공학과 졸업. 현재 원광대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

김용욱 (金龍旭)

1961년 8월 24일생. 1981년 인천기능대학 전기과 졸업. 1993년 창원기능대학 전기과 졸업. 1998년 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1993년~현재 한국산업인력공단 전북직업전문학교 전기제어과 교사.

박왈서 (朴曰緒)

1953년 5월 1일생. 1982년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수.